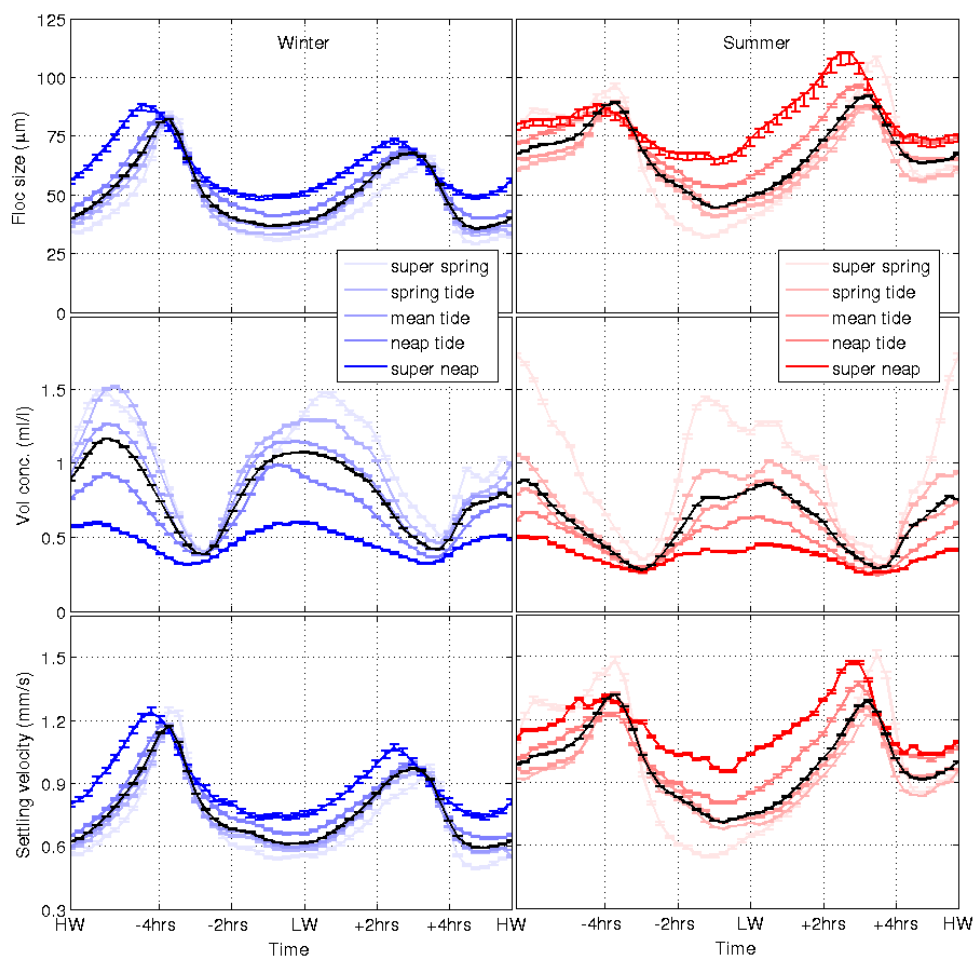


MONITORING en MODELLERING van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperatie (MOMO)



Activiteitsrapport (1 juli 2014 - 31 december 2014)

Michael Fettweis, Matthias Baeye, Frederic Francken

MOMO/7/MF/201501/NL/AR/2

Inhoudstafel

1.	Inleiding	3
1.1.	Voorwerp van deze opdracht	3
1.2.	Algemene doelstellingen	3
1.3.	Onderzoek Januari 2014 – December 2016	4
1.4.	Gerapporteerde en/of uitgevoerde taken	8
1.5.	Publicaties (januari 2014 – december 2016)	9
2.	Langdurige metingen te MOW1: Seizoenaliteit in SPM concentratie, vlok grootte en valsnelheid	10
2.1.	Inleiding	10
2.2.	Meetapparatuur	11
3.	Partikelgrootte en valsnelheid	13
3.1.	Partikelgrootte	13
3.1.1.	Metten van partikelgroottes	13
3.1.2.	Analyse van PGV met curve-fitting	14
3.2.	Valsnelheid	15
3.2.1.	Theoretische achtergrond	15
3.2.2.	Toepassing op LISST data	17
3.3.	Turbulentie	18
4.	Dataklassificatie	20
5.	Resultaten en discussie	22
5.1.	Invloed van seizoenen en getijamplitude op de stroomsnelheid	22
5.2.	Invloed van seizoenen en getijamplitude op de SPM massa concentratie	22
5.3.	Invloed van seizoenen en alongshore stroming op de SPM massa concentratie	25
5.4.	Invloed van seizoenen en getijamplitude op de SPM volume concentratie, vlok grootte en valsnelheid	26
5.5.	Discussie	30
6.	Conclusies	36
7.	Referenties	37

Appendix 1: Detailfiguren vlokken en valsnelheid 2006-2013

Appendix 2: Bijdrage PiE 7-9 October 2014 Esbjerg, Denmark

Appendix 3: Bijdrage PECS 19–24 October 2014, Porto de Galinhas, Brazil

1. Inleiding

1.1. Voorwerp van deze opdracht

Het MOMO-project (MONitoring en MODellering van het cohesieve sedimenttransport en de evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperatie) maakt deel uit van de algemene en permanente verplichtingen van monitoring en evaluatie van de effecten van alle menselijke activiteiten op het mariene ecosysteem waaraan België gebonden is overeenkomstig het Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu van de noordoostelijke Atlantische Oceaan (1992, OSPAR-Verdrag). De OSPAR Commissie heeft de objectieven van haar huidig “Joint Assessment and Monitoring Programme” (JAMP) gedefinieerd tot 2010 met de publicatie van een holistisch Quality Status Report Noordzee en waarvoor de federale overheid en de gewesten technische en wetenschappelijke bijdragen moeten afleveren ten laste van hun eigen middelen.

De menselijke activiteit die hier in het bijzonder wordt beoogd, is het storten in zee van baggerspecie waarvoor OSPAR een uitzondering heeft gemaakt op de algemene regel “alle stortingen in zee zijn verboden” (zie OSPAR-Verdrag, Bijlage II over de voorkoming en uitschakeling van verontreiniging door storting of verbranding). Het algemene doel van de opdracht is het bestuderen van de cohesieve sedimenten op het Belgisch Continentaal Plat (BCP) en dit met behulp van zowel numerieke modellen als het uitvoeren van metingen. De combinatie van monitoring en modellering zal gegevens kunnen aanleveren over de transportprocessen van deze fijne fractie en is daarom fundamenteel bij het beantwoorden van vragen over de samenstelling, de oorsprong en het verblijf ervan op het BCP, de veranderingen in de karakteristieken van dit sediment ten gevolge van de bagger- en stortoperaties, de effecten van de natuurlijke variabiliteit, de impact op het mariene ecosysteem in het bijzonder door de wijziging van habitats, de schatting van de netto input van gevaarlijke stoffen op het mariene milieu en de mogelijkheden om deze laatste twee te beperken.

Een samenvatting van de resultaten uit de voorbije vergunningsperioden kan gevonden worden in het “Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciastortingen” (Lauwaert et al. 2004; 2006; 2008; 2009a, 2009b, 2011a, 2011b, 2014) dat uitgevoerd werd conform art. 10 van het K.B. van 12 maart 2000 ter definiëring van de procedure voor machtiging van het storten in de Noordzee van bepaalde stoffen en materialen.

1.2. Algemene doelstellingen

Het onderzoek uitgevoerd in het MOMO project kadert in de algemene doelstellingen om de baggerwerken op het BCP en in de kusthavens te verminderen en om een gedetailleerd inzicht te verwerven van de fysische processen die plaatsvinden in het mariene kader waarbinnen deze baggerwerken worden uitgevoerd. Dit impliceert enerzijds beleids-ondersteunend onderzoek naar de vermindering van de sedimentatie op de baggerplaatsen en het evalueren van alternatieve stortmethoden. Anderzijds is onderzoek naar knelpunten voor het plannen en schatten van de effecten van de baggerwerken vereist. Dit is specifiek gericht op het dynamische gedrag van silb in de waterkolom en op de bodem en zal uitgevoerd worden met behulp van modellen en in situ metingen. De specifieke acties die binnen dit onderzoek uitgevoerd worden om de algemene doelstellingen in te vullen zijn:

1. Streven naar een efficiënter stortbeleid door:

- optimalisatie van de stortlocaties. Gebaseerd op onderzoek uitgevoerd in de voorbije jaren (zie vorige synthesesrapporten) zal een terreinproef worden uitgevoerd om de efficiëntie van een stortlocatie ten westen van Zeebrugge te bepalen;
- gebruik te maken van een operationeel stortmodel. Dit model zal geïntegreerd worden in de binnen BMM beschikbare operationele modellen. Het model zal gebruikt worden om in functie van de voorspelde fysische (wind, stroming, golven, sedimenttransport, recirculatie), economische (afstand, grootte baggerschip) en ecologische aspecten op korte termijn een keuze te kunnen maken tussen de beschikbare stortlocaties. Hiervoor zal binnen de huidige periode het slibtransportmodel gevalideerd worden op de geografische variabiliteit van de turbiditeitszones en de flocculatie van het slib.

2. Continue monitoring van het fysisch-sedimentologische milieu waarbinnen de baggerwerken worden uitgevoerd en aanpassing van de monitoring aan de nog op te stellen targets voor het bereiken van de goede milieutoestand (GES), zoals gedefinieerd zal worden binnen MSFD;

3. Uitbouw en optimalisatie van het numerieke modelinstrumentarium, ter ondersteuning en verfijning van acties 1 en 2.

1.3. Onderzoek Januari 2014 – December 2016

In het bijzonder is bij het opstellen van de hieronder vermelde taken rekening gehouden met de aanbevelingen voor de minister ter ondersteuning van de ontwikkeling van een versterkt milieubeleid zoals geformuleerd in het “Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciestortingen (2011)” dat uitgevoerd werd conform art. 10 van het K.B. van 12 maart 2000 ter definiëring van de procedure voor machtiging van het storten in de Noordzee van bepaalde stoffen en materialen

Taak 1: In situ metingen en data analyse

Monitoring moet gericht zijn op het begrijpen van processen, zodoende dat de waargenomen variabiliteit in een correcte kader geplaatst kan worden. In vele kustzones is er een gebrek aan langdurige en hoogfrequente data over sleutelparameters die de milieutoestand beschrijven, zoals turbiditeit en SPM concentratie. De tripodmetingen in het kader van het MOMO project te MOW1 vormen een uitzondering hierop gezien hun langdurig karakter. De eerste verankeringen werden in 2004 uitgevoerd, vanaf november 2009 worden er continue metingen gedaan. Deze data laten toe om zowel de natuurlijke variabiliteit, de langdurige trends en de effecten van menselijke ingrepen op de turbiditeit te achterhalen. Een groot deel van de activiteiten is daarom gericht op zowel het uitvoeren van de metingen, het garanderen van kwalitatief hoogwaardige data en het archiveren, rapporteren en interpreteren ervan.

Taak 1.1 Langdurige metingen

Sinds eind 2009 worden er continue metingen uitgevoerd te MOW1 met behulp van een meetframe (tripode). Met dit frame worden stromingen, slibconcentratie, korrelgrootteverdeling van het suspensiemateriaal, saliniteit, temperatuur, waterdiepte en zeebodem altimetrie gemeten. Om een continue tijdreeks te hebben, wordt gebruik gemaakt van 2 tripodes. Na ongeveer 1 maand wordt de verankerde tripode voor onderhoud aan wal gebracht en wordt de tweede op de meetlocatie verankerd.

In 2013 werd gestart met langdurige metingen met behulp van een OBS-5 sensor vastgemaakt aan de AW boei; deze metingen zullen verdergezet worden. De data geven informatie over de SPM concentratie aan het oppervlak en zijn aldus complementair aan

de bodem nabije metingen met de tripode. De data zijn ook van belang voor het calibreren en valideren van de oppervlakte SPM concentraties uit satellietbeelden.

Taak 1.2 Calibratie van sensoren tijdens in situ metingen

Tijdens 4 meetcampagnes per jaar met de R/V Belgica zullen een voldoende aantal 13-uursmetingen uitgevoerd worden met als hoofdoel het calibreren van optische of akoestische sensoren en het verzamelen van verticale profielen. De metingen zullen plaatsvinden in het kustgebied van het BCP. De optische metingen (transmissometer, Optical Backscatter Sensor) zullen gecalibreerd worden met de opgemeten hoeveelheid materie in suspensie (gravimetrische bepalingen na filtratie) om te komen tot massa concentraties. Naast de totale hoeveelheid aan suspensiemateriaal (SPM) wordt ook de concentratie aan POC/PON, chlorophyl (Chl-a, Chl-b) en phaeofytine (a, b) bepaald. Stalen van suspensiemateriaal zullen genomen worden met de centrifuge om de samenstelling ervan te bepalen.

Taak 1.3: Data archivering en rapportage

De meetdata worden gearchiveerd en er wordt een kwaliteitsanalyse uitgevoerd, zodat de goede data onderscheiden kunnen worden van slechte of niet betrouwbare data. Slechte data kunnen bv optreden doordat het instrument slecht heeft gewerkt en verkeerd werd ingesteld. Niet betrouwbare data zijn typisch geassocieerd met bv biofouling. De data en metadata worden gearchiveerd.

Taak 1.4: Verwerking en interpretatie van metingen

De metingen vergaard tijdens de 13-uursmetingen aan boord van de Belgica en met de tripode worden verwerkt en geïnterpreteerd. Hiervoor werden in het verleden reeds heel wat procedures (software) toegepast of ontwikkeld, zoals de berekening van de bodemschuifspanning uit turbulentiemetingen, entropieanalyse op partikelgrootteverdelingen, de opsplitsing van multimodale partikelgrootteverdeling in een som van lognormale verdelingen, het groeperen van de data volgens getij, meteorologie, klimatologie en seizoenen. Deze methodes (zullen opgenomen worden) zijn opgenomen in de standaardverwerking van de data. De aldus verwerkte data dienen als basis voor het verder gebruik binnenin wetenschappelijke vragen (zie taak 2.2, 2.3 en 4.2, 4.4).

Taak 2: Onderzoek en monitoring alternatieve stortstrategie onderhoudsbaggerwerk voorhaven Zeebrugge

De BMM is auteur van de voorbereidende studies voor de terreinproef en zal de terreinproef mee opvolgen. BMM-OD Natuur zal verantwoordelijk zijn voor het uitvoeren van de langdurige frame metingen (lopen tot eind april 2014) en de statistische verwerking van de resultaten (Taak 2.1). De resultaten van de metingen zullen gebruikt worden bij de analyse van de efficiëntie van de baggerproef (Taak 2.3). Door de BMM-OD Natuur zullen ook met behulp van het Automatic Underway Monitoring System (AUMS) op het onderzoeksschip Belgica opnames gemaakt worden van de sedimentconcentratie binnen de haven (Taak 2.2). Deze gegevens zullen ter beschikking gesteld worden voor verdere verwerking. BMM-OD Natuur zal deel uitmaken van de stuurgroep.

Taak 2.1: Uitvoeren van lange termijn metingen in de omgeving van de haven van Zeebrugge voor het opvolgen van de terreinproef, en het bestuderen van de interne sedimentdynamiek in de haven

Voor dit deel van de opdracht is de BMM-OD Natuur verantwoordelijk voor het uitvoeren van de metingen en het aanleveren van de gevalideerde data voor verdere verwerking in de factual data rapportering en omzetting naar het standaardformaat. Het betreft twee meetframes, een ter hoogte van de meetpaal MOW 1 (als achtergrondwaarde, zie Taak

1.1) en een ander ter hoogte van de ingang van de haven van Zeebrugge (WZ-boei). Deze meetframes dienen afdoend de saliniteit, stromingen, sedimentconcentratie en korrelgrootteverdeling te meten.

Taak 2.2: Beschrijving van de omgevingscondities

Gedurende de meetperiode van de langdurige metingen dienen ook de verschillende externe factoren die een invloed kunnen hebben op de interne slibdynamiek in de haven nauwkeurig bijgehouden worden en dit gedurende dezelfde periode als de metingen in taak 2.1. De BMM-OD Natuur is verantwoordelijk voor het opleveren van informatie over de sedimentconcentraties uit het AUMS aan boord van de Belgica.

Taak 2.3: Analyse efficiëntie baggerproef

Na afloop van de baggerproef dient de efficiëntie van de uitgevoerde proef geschat te worden. Hiervoor dient als eerste een T0 toestand gedefinieerd te worden, waarbij op basis van de binnen Taak 2.1 en Taak 2.2 verzamelde data een inschatting kan gemaakt worden van de mogelijke events die tijdens de proef hebben plaatsgevonden, en hun invloed op de resultaten van de baggerproef. De BMM-OD Natuur zal een statistische benadering van de efficiëntie van de baggerproef uitvoeren, waarbij nagegaan wordt in hoeverre de tijdens de baggerproef gemeten waardes op de twee frames afwijken van de waardes die gemeten werden buiten de stortproef. Deze analyse werd reeds toegepast bij de evalueren van de baggerproef in het Albert II dok.

Taak 3: Uitbouw en optimalisatie van het modelinstrumentarium

Taak 3.1: Validatie van het slibtransportmodel

Het tijdens de voorbije jaren verbeterde en aangepaste slibtransportmodel zal worden gevalideerd met behulp van de langdurige meetreeksen en de satellietbeelden. Hierbij zal dezelfde methode als in Baeye et al. (2011) en zoals in taak 1.4 worden gebruikt om de modelresultaten te groeperen en te klasseren volgens windrichting, weertype en getij. Het voordeel van deze werkwijze is dat niet zozeer gekeken wordt of de correlatie tussen meting en modelresultaat in één of meerder punt goed is, maar dat globaal nagegaan wordt of het model de SPM dynamica op het BCP goed kan reproduceren. Deze taak zal in nauwe samenwerking met het WLH gebeuren die eenzelfde benadering zullen toe passen op hun model (contacten zijn gelegd met B De Maerschalk).

Taak 3.2: Operationeel stortmodel

Dit model zal geïntegreerd worden in de binnen BMM-OD Natuur beschikbare operationele modellen. Het model zal gebruikt worden om in functie van de voorspelde fysische (wind, stroming, golven, sedimenttransport, recirculatie), economische (afstand, grootte baggerschip) en ecologische aspecten op korte termijn een keuze te kunnen maken tussen de beschikbare stortlocaties. Hiervoor zal binnen de huidige periode het slibtransportmodel gevalideerd worden op de geografische variabiliteit van de turbiditeitszones en de flocculatie van het slib.

Taak 4: Oplossingen voor knelpunten

Taak 4.1: Kwaliteitscontrole van de data en de integratie ervan in de monitoring voor de KRMS

Taak 4.1.1: KRMS monitoring

De data verzameld in Taak 1, zullen worden opgenomen in de nog op te zetten monitoringsverplichtingen van de Belgische Staat (07/2014) in het kader van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (MFS). De KRMS monitoring zal in 2015 starten en zal dienen om de toestand van het mariene milieu te evalueren aan de goede milieutoestand

(GES), zoals opgetseld door de Belgische Staat in 2012 (Belgische Staat 2012a, 2012b).

Er zal verder geëvalueerd worden of het MOMO meetprogramma aan de monitoringsverplichtingen die voor de KRMS (MFSD) moeten worden opgesteld zal voldoen en/of er aanpassingen nodig zijn. De wetenschappelijke vragen die hier bekeken worden hebben vooral betrekking op de geografische spreiding van de data. Is het voldoende om – zoals nu gebeurt – te berusten op satellietbeelden voor de geografische en in situ meetreeksen voor de temporele spreiding of dienen we te opteren voor één vast meetpunt (MOW1) en bijkomend een aantal andere punten (Nieuwpoort, Kwintebank, Gootebank) waar random in de tijd gemeten wordt met een tripode gedurende telkens een periode van ongeveer 1 maand. Hiervoor zou bv de tripode die nu ingezet wordt voor de terreinproef gebruikt kunnen worden.

Taak 4.1.2: Kwaliteitscontrole

Een belangrijk aandachtspunt bij deze langdurige datareeksen is het garanderen van een gelijke kwaliteit in de tijd van de verzamelde data. De vraag die zich bij onze SPM concentratiemetingen stelt is niet zozeer het opmeten van hogere of lagere waarden, mogelijks veroorzaakt door het toepassen van een andere stortstrategie, maar het garanderen dat deze waarden inderdaad veroorzaakt worden door menselijke activiteiten (bv storten) en niet het effect zijn van natuurlijke fluctuaties. De natuurlijke variabiliteit van SPM concentratie is groot en wordt veroorzaakt door de getijwerking, dootij-springtijcyclus en meteorologische en klimatologische fenomenen. De tijdschalen gaan van seconden tot seizoenen, met mogelijks langere fluctuaties voor (nodale cyclus, klimaatsverandering, zeespiegelstijging,...). Langdurige variaties kunnen bv geïdentificeerd worden als een trend of een cosinusfunctie met lage frequentie. Om kwaliteitsvolle data te kunnen leveren over een lange periode, die gebruikt kunnen worden om langdurige trends te identificeren, is het nodig om een rigoureuze kwaliteitscontrole uit te voeren. OBS alsook akoestische sensoren zijn gevoelig aan de samenstelling en korrelgrootte van het gesuspenderde materiaal. Dit kan variëren in functie van de boven vermelde frequenties, maar hieromtrent is er nog geen afdoende duidelijkheid wat de metingen te MOW1 betreft.

- Hoe veranderen de calibratieconstanten i.f.v. externe parameters (dootij-springtij, zomer-winter)? Hoe dikwijls moeten de sensoren in situ gecalibreerd worden om de rekening te kunnen houden met de mogelijke fluctuaties in samenstelling van het suspensiemateriaal?
- Wat is de fout op de metingen? Het uitvoeren van directe (waterstaal) en indirecte metingen (OBS, akoestische backscatter) van SPM concentratie gaat inherent gepaard met onzekerheden (meetfouten). In situ metingen zijn steeds onderhevig aan onzekerheden tengevolge van random meetfouten (gebrek aan precisie), systematische fouten (onnauwkeurigheid), menselijke fouten, en de statistische variabiliteit van de parameter. De fouten hebben hun oorsprong in de onnauwkeurigheid en het gebrek aan precisie van het meetinstrument of de procedures (bv. waterstaalname en filtratie). Doel is om de fout op de verschillende onderdelen van de metingen (filtratie, calibratie, langdurige trends...) te schatten.

Taak 4.1.3: Aanvulling van ontbrekende data met behulp van statistische methodes

Het gebeurt regelmatig in de metingen te MOW1 dat de OBS sensoren verzadigen (vooral deze op 0.2 m) of uitvallen en er aldus gedurende een korte of langere perioden geen (betrouwbare) data beschikbaar zijn. In de statistiek bestaan technieken de ontbrekende data te reconstrueren. Er zal nagegaan worden wat de meests geschikte methode is om de tijdseries te vervolledigen.

Taak 4.2: Biologische effecten en de seizoenale variaties in SPM concentratie

De correlatie tussen biomassa (zoals o.a. POC en chlorophyll) en vlok grootte en vorm wordt dikwijls aangehaald in de literatuur, maar dit bleek sterk plaatsgebonden te zijn en dikwijls gebaseerd op korte meetperioden. De lange tijdsreeks te MOW1 werd geanalyseerd in combinatie met satelliet data, de omgekeerde correlatie tussen de chlorophyll en de SPM concentratie is opvallend. Er werd de hypothese opgesteld, dat door de algenbloei in de lente de concentratie aan kleverige organische moleculen (TEPs) wordt verhoogd, waardoor meer macrovlokken gevormd worden, het SPM sneller bezinkt en moeilijker kan eroderen en aldus de SPM concentratie gaat afnemen. Erder onderzoek richt zich naar:

- 1) Analyse van TEP concentraties. Tot nu toe worden geen TEP analyses uitgevoerd, nochtans is dit noodzakelijk om deze hypothese te toetsen. Er zal nagegaan worden hoe de TEPs geanalyseerd kunnen worden in waterstalen, wat en hoe dit meetprogramma uitgevoerd kan worden. Er wordt geopteerd om tegen 2015 met de eerste metingen te kunnen beginnen.
- 2) De invloed van lichthoeveelheid op de start van de algenbloei in de lente en de afname van de SPM concentratie;
- 3) Wat gebeurt er met het SPM dat uit de waterkolom verdwijnt door snellere sedimentatie in de zomer? Heeft dit een effect op de frequentie van hooggeconcentreerde slib suspensies en mogelijks aanslibbing van vaargeulen en havens?
- 4) Verdere ontwikkeling van het flocculatiemodel zodat seizoenale effecten in rekening gebracht kunnen worden. Simulatie in 2D/3D met dit flocculatiemodel teneinde het model te valideren.

Taak 4.3: Alternatieve Stortstrategie Nieuwpoort

Er zal ondersteuning gegeven worden aan MDK in verband met het opzetten van een wetenschappelijke terreinproef om de impact van het verpompen van baggerspecie uit de haven van Nieuwpoort op een stortzone te evalueren. Details hiervan zullen op een vergadering van de technische werkgroep besproken worden.

Taak 4.4: Golfsystemen en hun impact op de zeebodem en de SPM concentratie

Er bestaan verschillende soorten golven en golfsystemen (korte golven, deining) die een impact hebben op de zeebodem. Tot nu toe werd dit aspect nog niet in rekening gebracht in de analyse van de data. Wat is de impact van deining of korte golven op de resuspensie van sedimenten? Wat zijn de belangrijkste parameters en wat is hun belang voor waterbouwkundige werken (baggeren)?

1.4. Gerapporteerde en/of uitgevoerde taken

Periode Januari 2014 – Juni 2014

- Taak 1.1: De meetreeks te MOW1 werd verdergezet.
- Taak 1.2: Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2014/01 en 2014/11
- Taak 1.4: Verwerking en interpretatie van OBS meetdata (gerapporteerd in activiteitsrapport MOMO/7/MF/201408/NL/AR/1)
- Taak 2.1: De metingen aan de WZ boei werden beëindigd eind maart 2014.

Periode Juli 2014 – December 2014

- Taak 1.1: De meetreeks te MOW1 werd verdergezet.
- Taak 1.2: Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2014/22, 2014/28 en 2014/31
- Taak 1.4: Verwerking en interpretatie van LISST meetdata (gerapporteerd in

activiteitsrapport MOMO/7/MF/201501/NL/AR/2).

Taak 2.2: ADCP data gemeten aan boord van de Belgica en de satellietbeelden tijdens de stortproef werden verwerkt en de data opgeleverd.

1.5. Publicaties (januari 2014 – december 2016)

Hieronder is een lijst met rapporten, publicaties, thesissen en presentatie op workshops en conferenties waar resultaten en data uit het MOMO project worden in voorgesteld:

Activiteits-, Meet- en Syntheserapporten

Fettweis M, Baeye M, Francken F. 2015. MOMO activiteitsrapport (1 juli – 31 december 2014). BMM-rapport MOMO/7/MF/201501/NL/AR/1, 41pp + app.

Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D. 2014. MOMO activiteitsrapport (1 januari - 30 juni 2014). BMM-rapport MOMO/7/MF/201408/NL/AR/1, 43pp + app.

Lauwaert B, Fettweis M, De Witte B, Devriese L, Van Hoei G, Timmermans S, Martens C. 2014. Vooruitgangrapport (juni 2014) over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciestorringen (vergunningsperiode 01/01/2012 – 31/12/2016). Rapport uitgevoerd door KBIN-BMM, ILVO, CD, aMT. BL/2014/01, 20pp + app.

Conferenties/Workshops

Fettweis M, Baeye M, Francken F. 2014. Seasonality of the near bed SPM dynamics in the southern North Sea. PECS, 20-24 October, Porto de Galinhas (Brazil).

Fettweis M, Baeye M. 2014. Variability in concentration, size and settling velocity of muddy marine flocs from the southern North Sea. Particles in Europe, 7-9 October, Esbjerg (Denmark).

Fettweis M, Lee B, Toorman E. 2014. Multimodal particle size distribution of fine-grained cohesive sediments: Observation and simulation. Reactive Transport Workshop, 20 May, Louvain-la-Neuve (Belgium).

Baeye M, Francken F, Fettweis M, Van den Eynde D. 2014. The first buoy for continuous measuring of surface Suspended Particulate Matter concentration on the Belgian inner shelf. VLIZ Young Marine Scientists' Day, March 7, Brugge (Belgium) (poster).

Fettweis M, Baeye M, Van der Zande, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014. Seasonality of near-shore marine snow in the southern North Sea. VLIZ Young Marine Scientists' Day, March 7, Brugge (Belgium).

Thant S, Baeye M, Fettweis M, Monbaliu J, Van Rooij D. 2014. Extreme values of Suspended Particulate Matter concentration and their relation to wave systems along the Belgian inner shelf. VLIZ Young Marine Scientists' Day, March 7, Brugge (Belgium).

Publicaties (tijdschriften, hoofdstuk in boeken)

Van den Eynde D, Fettweis M. 2014. Towards the application of an operational sediment transport model for the optimisation of dredging works in the Belgian coastal zone (southern North Sea). In: Dahlin H., Flemming N.C., Petersson S.E. (Eds.). Sustainable Operational Oceanography, 250-260.

Fettweis M, Baeye M, Van der Zande D, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014. Seasonality of flocc strength in the southern North Sea. Journal of Geophysical Research 118, doi:10.1002/2013JC009750.

Lee BJ, Toorman E, Fettweis M. 2014. Multimodal particle size distribution of fine-grained sediments: Mathematical modeling and field investigations. Ocean Dynamics 64, 429-441. doi: 10.1007/s10236-014-0692-y

Thesis

Thant S. 2014. Study on wave systems and their impact on the seabed and water column turbidity in the Belgian coastal zone. Master thesis in Marine and Lacustrine Science and Management. UA, UGent and VUB. 43pp+app.

2. Langdurige metingen te MOW1: Seizoenaliteit in SPM concentratie, vloggrootte en valsnelheid

2.1. Inleiding

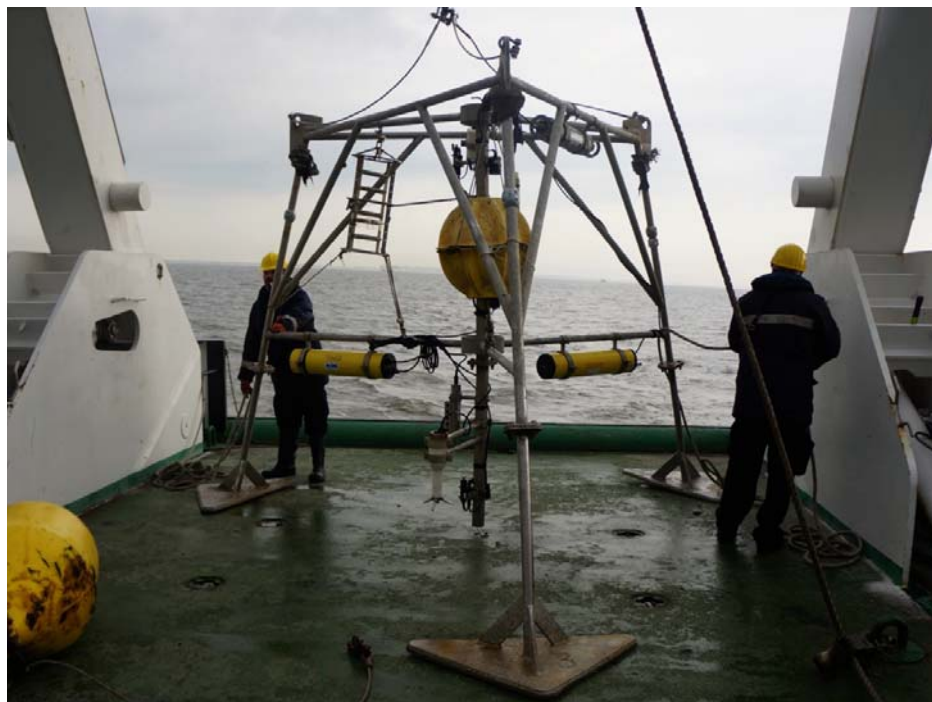
In de twee vorige rapporten werd een overzicht gegeven van de beschikbare meetgegevens te MOW1 (Fettweis et al. 2013; 2014a). In dit rapport wordt verder ingegaan op de verwerking van deze gegevens. Een van de doelstellingen van deze metingen is om de sedimentdynamica in de Belgische kustzone beter te begrijpen. In dit rapport gaan we nader in op flocculatieprocessen en meer bepaald hun invloed op de grootte en de valsnelheid van slibvlokken onder variërende getij, meteo en seizoenomstandigheden.

Vlokvorming of flocculatie omvat zowel de processen van aggregatie van partikels in suspensie als het opbreken ervan in hun kleinere bestanddelen. Flocculatie wordt gestuurd door de heersende turbulentie, de beschikbare tijd en de aanwezigheid van kleverige organische molekulen en beïnvloedt daardoor zowel de grootte als de valsnelheid van het suspensiemateriaal. Een voldoende lage turbulentie verlaagt de kans dat vlokken uiteenbreken zodat de grotere vlokken kunnen blijven bestaan; dit heeft een verhoging van de valsnelheid tot gevolg. Een hoge turbulentie heeft een omgekeerd effect, vlokken breken uiteen en de valsnelheid neemt af. Hierdoor kunnen ook biomassa en minerale deeltjes gecombineerd worden in grotere aggregaten met dikwijls een multimodale partikelgrootteverdeling (PGV) en variërende vloksterktes (Verney et al. 2009; Lee et al. 2012; Fettweis et al. 2014b). Flocculatie is een dynamisch proces waarin aggregatie en het opbreken van de vlokken elkaar compenseren (Eisma 1986; van Leussen 1994; Winterwerp 1998; Maggi 2005; Mietta 2010). Aan het meten en modelleren van de variabiliteit in vloggrootte tengevolge van getij, weersomstandigheden en biologie werd veel aandacht besteed in het MOMO project (Fettweis et al. 2006, 2012a, 2012b, 2013; Fettweis 2008; Lee et al. 2012, 2014). De valsnelheid, w_s , van vlokken of partikels in suspensie is dan ook de belangrijkste parameter om de verticale sedimentflux in kustgebieden te berekenen. Deze bepaald onder meer de afstand die een partikel kan afleggen vooraleer het afgezet wordt en dus het transport van het sediment. In de literatuur worden heel wat methodes beschreven om de valsnelheid te meten of te berekenen. In het geval van vlokken is er geweten dat deze afhankelijk is van de grootte, de vorm en de effectieve densiteit.

Uit voorgaand onderzoek is gebleken dat de flocculatie van kleimineralen, silt en organisch materiaal resulteert in een vierdelig conceptuele vloggrootteverdeling, met name primaire deeltjes, flocculi, microvlokken en macrovlokken (Lee et al. 2012). Door de variërende turbulentie tijdens een getij en hun effect op flocculatie verandert de relatieve volumefractie van deze bouwstenen voortdurend. In feite interageren primaire partikel, flocculi, microvlokken en macrovlokken tijdens flocculatie en transport zodat alternerend hun pieken in de multimodale PGV toenemen en afnemen tijdens een getijcyclus. Deze pieken in de PGV weerspiegelen het evenwicht tussen aggregatie en het opbreken van vlokken (Verney et al. 2011), maar kunnen ook een andere oorzaak hebben zoals kon worden vastgesteld in de langdurige tijdreeksen van PGVen gemeten met een LISST100 sensor (Baeye et al. 2011; Fettweis et al. 2012a). Zo kan het voorkomen van een bijkomende piek van zandgrootte naast een bestaande piek van klei-siltgrootte wijzen op zowel de erosie van zand als de vorming van aggregaten uit fijnkorrelige cohesieve sedimenten. Dikwijls worden gemeten PGVen enkel in een kwalitatieve en beschrijvende manier gebruikt (Chen et al. 2005; Manning & Bass 2006; Mikkelsen et al. 2006). In Fettweis et al. (2012a) en Lee et al. (2012) werd er een aanzet gegeven om de PGVen te

integreren met andere metingen om de processen die het transport van sedimenten bepalen, te kwantificeren. Een kwantitatieve en statistische methode is ook nodig om praktische redenen bij modellering en simulering van deze processen. De recente mathematische modellen met meerdere en discrete partikelgroottegroepen zijn nauwkeuriger om flocculatie en transport te simuleren van multimodale PGV dan modellen met een enkele partikelgrootte en unimodale benadering (Lee et al. 2012, 2014; Maerz et al. 2011). Daarom is het nodig om elke modale piek in een multimodale de PGV te karakteriseren en om deze te vereenvoudigen zodat een betere of efficiëntere modellering mogelijk is.

In Fettweis et al. (2014b) werd aangetoond dat de seizoenale variatie in SPM concentratie voor een belangrijk deel bepaald wordt door de hogere biologische activiteit tijdens de zomer en enkel in mindere mate door de seizoenale variaties in weertype en golfklimaat. Een onderzoeksvraag die nog hangende is, betreft het lot van het SPM en het slib tijdens het jaar. Hoe veranderen de bodem nabije slibfluxen tijdens de seizoenen? Wordt de vermindering in SPM concentratie in de waterkolom tijdens de zomer gecompenseerd door een grotere export van SPM naar andere gebieden of door een aanrijking van het slib op de bodem? Is de SPM concentratie dicht tegen de bodem hoger en het voorkomen van HCMS frequenter tijdens de zomer dan tijdens de winter? Een verdere kwantitatieve en systematische statistische verwerking dringt zich dus op om de dynamica van de partikels en aggregaten en hun multimodale PGV in een kustzone beter te begrijpen. Deze resultaten zullen gebruikt worden om op een kwantitatieve manier de duur van een monitoring (zie bv terreinproef, maar ook MFSD) vast te leggen (zie taken in MOMO-VII 2014-1026).



Figuur 2.1: Tripode meetsysteem klaar voor verankering te MOW1 op 28/04/20147.

2.2. Meetapparatuur

Stroming, saliniteit, temperatuur, SPM concentratie en partikelgrootteverdeling (PGV) werden gemeten met een tripode, zie Figuur 2.1. De gemonteerde instrumentatie bestaat, onder andere uit drie D&A optical backscatter point sensors (OBSen), een Sea-bird SBE37 CT, een SonTek ADP current profiler en een Sequoia Scientific LISST (laser in situ scattering

and transmissometry) 100X type C. Alle data (uitgezonderd van de LISST) worden opgeslaan in twee SonTek Hydra data logging systemen. De LISST werd gemonteerd op ongeveer 2 meter boven de bodem (verder afgekort als mbb) en de OBSen op 0.2, 1 en 2 mbb. Het OBS signaal werd gebruikt om de backscatter van de ADP om te zetten naar SPM concentratie. De OBS voltage werd omgezet naar SPM concentratie met behulp van gefiltreerde waterstalen genomen tijdens verschillende meetcampagnes. De OBS werden afgeijkt om concentraties te meten tot ongeveer 3 g/l. Tijdens periodes met hoge turbulentie was de SPM concentratie regelmatig hoger dan 3 g/l, de OBS is dan gesatureerd en onderschat aldus de reële SPM concentratie.

De tripode wordt gedurende een periode van 3-6 weken verankerd, waarna ze terug opgehaald en vervangen wordt met een gelijkaardig tripodesysteem. Door deze langdurige verankering beschikken we over een representatief overzicht dat de natuurlijke variaties, zoals springtij-doodtij en meteorologische gebeurtenissen, weergeeft. De golfddata zijn afkomstig van de A2-boei (Meetnet Vlaamse Banken).

3. Partikelgrootte en valsnelheid

3.1. Partikelgrootte

3.1.1. Meten van partikelgroottes

De diameter van een partikel is enkel bij sferische deeltjes een kwantitatieve maat voor hun grootte. Natuurlijke deeltjes (bv vlokken of zandkorrels) hebben een onregelmatige vorm, een waaier aan diameters en bestaan dus intrinsiek uit een korrelgrootteverdeling. Indien het sediment of het SPM daarenboven samengesteld is uit verschillende korrelgrootteklassen is de diameter niet eenduidig te bepalen.

Naast de vorm wordt de korrelgrootte en de verdeling ervan ook beïnvloed door de gebruikte meettechniek. De LISST 100, die we gebruiken om de partikelgrootte in suspensie te meten, werkt met laser diffractie technologie (Agrawal & Pottsmith 2000). Laserdiffractie gebruikt het verband tussen de partikelgrootte en de hoek en intensiteit van het door het partikel verstrooide licht om de grootte te bepalen. Licht dat op een groter partikel valt wordt intensiever verstrooid in de kleinere hoeken dan licht dat op een kleiner partikel valt. De hoek en intensiteit van het verstrooide licht wordt ingevoerd in een algoritme dat gebruikmaakt van de Mie theorie over verstrooiing van licht om de partikelgrootte te berekenen. Resultaat van een laserdiffractiemeting zijn volumeconcentratie en partikelgrootte in een aantal klassen. De LISST-100C meet de partikelgrootte in 32 logaritmisch verdeelde klassen gespreid over een range van 2.5 - 500 μm (Agrawal & Pottsmith 2000). De volumeconcentratie van iedere partikelgrootteklasse wordt berekend met een empirische volumecalibratieconstante, die veronderstelt dat de deeltjes sferisch zijn. Andere technieken, b.v. vlokcameras meten de grootte en aantallen of oppervlakte van de deeltjes. Elke meettechniek zal dus een andere gemiddelde korrelgrootte opleveren.

De gemiddelde, mediane en modale waarde van een partikelgrootteverdeling zijn bij een symmetrische (normale) verdeling equivalent. Indien de verdeling hiervan afwijkt of multimodaal is dan treden verschillen op tussen deze waarden. Vlokken in mariene en estuariene omgevingen hebben dikwijls een log-normale verdeling. De gemiddelde partikelgrootte van een verdeling kan op verschillende manieren gedefinieerd worden afhankelijk van hoe de verdeling werd gemeten (aantal, oppervlakte, volume). Laserdiffractie (en dus ook de LISST) geeft de volume gemiddelde grootte, D_{vol} , weer, die ook aangeduid wordt als $D[4,3]$ of de Brouckere diameter:

$$D_{vol} = D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^4 v_i}{\sum_{i=1}^n D_i^3 v_i} \quad (3.1)$$

waarbij D_i de geometrisch gemiddelde diameter van klasse i is en v_i het percentage van deeltjes in klasse i . De volume gemiddelde grootte is meer gevoelig aan de aanwezigheid van grotere deeltjes. Dit in tegenstelling tot de Sauter mean diameter (D_{smd}) of $D[3,2]$, die ook berekend wordt in de LISST verwerkingssoftware, en die gevoeliger is voor de kleinere deeltjes. Daarom dat de D_{SMD} kleiner is dan de D_{vol} . De berekening ervan is gelijkaardig als $D[4,3]$, behalve dat de exponenten 3 en 2 zijn i.p.v. 4 en 3.

Bij laserdiffractie is de mediane partikelgrootte, $D50$, gebaseerd op de volumeverdeling: 50% van het totale volume aan partikels hebben grotere partikelgrootte. De modus van een (uni-)modale verdeling is de hoogste piek in de korrelgrootteverdeling en vertegenwoordigd dus de meest voorkomende partikelgrootte in de verdeling. De vloggrootteverdeling in de Belgische kustwateren kan goed benaderd worden met vier

modi, die allen log-normaal verdeeld zijn. Een variabele D is log-normaal verdeeld als de $\log(D)$ normaal verdeeld is. Een log-normale verdeling is scheefgetrokken naar de kleinere groottes en wordt gekarakteriseerd door de mediaan en de standaard deviatie van $\log(D)$. De PDF (Probability Density Function) van zulk een variabele kan als volgt worden geschreven:

$$PDF(D) = \frac{1}{D\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(\log(D) - \mu)^2\right) \quad (3.2)$$

waarbij μ de mediaan en σ de standaardafwijking is. Door de waarden terug om te zetten naar de gemeten grootte kan de verdeling gekarakteriseerd worden door het geometrisch gemiddelde (D_{geo}) en de multiplicatieve standaardafwijking (σ_{geo}). Het interval D_{geo} gedeeld door σ_{geo} tot D_{geo} vermenigvuldigd met σ_{geo} omvat 68.3% van de populatie en $D_{geo}/2 \times \sigma_{geo}$ tot $D_{geo} \times 2 \times \sigma_{geo}$ 95.5%. Volgende benadering werd gebruikt:

$$D_{geo} = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(D_i)\right) = \left(\prod_{i=1}^n D_i\right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{geo} = \exp\left(\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log(D_i / D_{geo}))^2\right]^{\frac{1}{2}}\right) \quad (3.4)$$

De geometrisch gemiddelde diameter, D_{geo} , kan omgerekend worden naar de volume gemiddelde diameter, D_{vol} , als volgt (Hatch & Choate 1929):

$$D_{vol} = \exp(\ln(D_{geo}) + 0.5(\ln(\sigma_{geo}))^2) \quad (3.5)$$

3.1.2. Analyse van PGV met curve-fitting

Een statistische methode, die ontwikkeld werd voor aërsolen (Banerjee et al. 2009; Hussein et al. 2005; Whitby 1978), werd toegepast om de multimodale PGV van SPM kwantitatief en systematisch te analyseren en te interpreteren. Deze statistische methode gebruikt een automatische curve-fitting software (DistFit™, Chimera Technologies Inc., USA) die de samenstellende log-normale verdelingen identificeert. Deze software laat aldus toe om de statistiek van een grote en ingewikkelde PGVs-tijdserie op een kwantitatieve en systematische manier te analyseren. Een multimodale functie is een verdeling die bestaat uit de som van een aantal lognormale verdelingen:

$$\frac{dV}{dD} = \sum_{i=1}^4 \frac{V_i}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_{geo,i})} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D / D_{geo,i})}{\ln(\sigma_{geo,i})}\right)^2\right] \quad (3.6)$$

waarbij V en D de volume concentratie en de diameter van elk LISST100 interval uit een gemeten PGV is. $D_{geo,i}$ is de geometrisch gemiddelde diameter, $\sigma_{geo,i}$ de multiplicatieve standaardafwijking en V_i de volumetrische fractie van de i de unimodale PGV. dV/dD is de over de breedte van de LISST100 klasse genormaliseerde volume fractie die gebruikt wordt bij de curve-fitting. De DistFit™ software (Chimera Technologies) werd toegepast om de best mogelijke fit, zijnde deze met een minimale afwijking tussen de gefitte en de gemeten PGVen, te berekenen (Whitby 1978). Voor twee modale pieken werden vaste partikelgrootten gedefinieerd van respectievelijk 3 μm (laagste partikelgrootteklasse van de LISST) en 15 μm . De modale pieken van de grotere fracties zijn variabel (15–200 μm en 200–500 μm) en de standaardafwijking beperkt tot de range 1 - 2.5, zie Lee et al. (2012). Deze klassen komen overeen met primaire partikels, flocculi, microvlokken en macrovlokken.

In de gemeten PGV van de LISST kan geregeld een 'rising tail' waargenomen worden in de kleinste partikelgrootteklassen. Deze wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van deeltjes die tot tien keer kleiner zijn dan de meetrange van de LISST (i.e. 0.25–2.5 μm). Andrews et al. (2010) hebben vastgesteld dat deze fijne 'out of range' deeltjes de gehele PGV kunnen beïnvloeden, met een verhoging van de volumeconcentratie in de eerste twee partikelgrootteklassen van de LISST, een verlaging in de volgende klassen en - verrassend – een verhoging in de grootste klassen. De gefitte curve voor de 3 μm mode geeft waarschijnlijk deels deze onnauwkeurigheid van de LISST weer om kleine deeltjes te meten. De volumefractie berekend voor deze modus moet daarom geïnterpreteerd worden als een aanduiding voor de aanwezigheid van zeer kleine deeltjes of primaire partikels. Deze onnauwkeurigheid kan het onderscheid tussen de pieken van de primaire deeltjes en de flocculi vergroten en kan ervoor zorgen dat er een kleine piek ontstaat in de macrovlokken tijdens maximale stroming.

3.2. Valsnelheid

3.2.1. Theoretische achtergrond

De uiteindelijke valsnelheid, w_s , van een partikel wordt gedefinieerd als een evenwicht tussen de wrijvingskracht en het gewicht in de vloeistof van het vallende deeltje. Uiteindelijk bekomt men de wet van Stoke, die geldig is voor vlokken met een vlok Reynoldsgetal, Re , kleiner dan 1. De valsnelheid in deze vergelijking is een functie van de vloggrootte en de effectieve densiteit. Het gewicht van vlokken of partikels in een vloeistof (effectieve densiteit) kan beschreven worden als een functie van de vloggrootte en de fractale dimensie (Kranenburg 1994):

$$\Delta\rho = \rho_v - \rho_w = k_a D_v^{nf-3} \quad (3.9)$$

waarbij k_a een correlatiecoëfficiënt, ρ_v de vlogdensiteit, ρ_w de waterdensiteit, D_v de vloggrootte en nf de fractale dimensie van de vlog is. Indien $\Delta\rho$ en D_v gekend zijn, dan kan de fractale dimensie afgeleid worden met behulp van een lineaire regressie in een log-log diagram. In de literatuur zijn tal van voorbeelden te vinden die gebruik maken van deze benadering (Winterwerp 1998; Khelifa & Hill 2006; Fettweis 2008; Maggi 2009; Kumar et al. 2010; Strom & Keyvani 2011). Voor slibvlokken met een fractale structuur kan de valsnelheid berekend worden met (Winterwerp 1998):

$$w_s = \frac{\alpha}{\beta} \frac{(\rho_p - \rho_w)}{18\eta} g D_p^{3-nf} \frac{D_v^{nf-1}}{1 + 0.15 Re^{0.687}} \quad (3.10)$$

waarbij ρ_p de primaire partikel densiteit, D_p de primaire partikelgrootte, Re het partikel Reynolds getal, g de zwaartekrachtsconstante, η de dynamische viscositeit van het water (1.4×10^{-3} Pa/s) is; α en β geven de sfericiteit van de vlokken weer. Voor sferische en volle deeltjes ($\alpha=\beta=1$, $Re<1$, $nf=3$) bekomt men de wet van Stokes. Het partikel Reynolds getal is gedefinieerd als $Re=w D/\nu$, met w de stroomsnelheid rond het partikel (verticale snelheid bij een vallend deeltje), ν de kinematische viscositeit (ongeveer 1×10^{-6} m²/s) en D een partikeldiameter. Het Reynoldgetal is moeilijk te schatten voor vlokken, een dimensie analyse toont dat bij een valsnelheid van 1-5 mm en een diameter van de vlokken van 500 μm (grootste klasse van de LISST) het Reynoldsgetal gelegen is tussen 0.5-2.5.

Het nadeel van een enkele parameter voor vloggrootte (vgl 3.10) is dat bij uitgesproken multimodale verdelingen de fout op de valsnelheid groter wordt (zie Lee et al. 2012). Het voordeel van vergelijking 3.10 is dat de valsnelheid berekend kan worden mits de vloggrootte, de grootte van de primaire deeltjes en de fractale dimensie gekend zijn. Vloggrootte kan gemeten (zie boven) of gemodelleerd (Lee et al. 2014) worden, en

een karakteristieke vloggrootte (of vloggroottes) is dan beschikbaar. Moeilijker is de bepaling van de grootte van de primaire partikels, die volgens dit concept een unieke partikelgrootte zouden moeten hebben. In werkelijkheid bestaan de primaire deeltjes echter uit een verdeling van partikelgrootten en een mengeling van verschillende mineralen. Het is nochtans deze parameter die een grote invloed heeft op de berekening van de valsnelheid en die dus de nauwkeurigheid van de berekening bepaald (Fettweis 2008). De gemiddelde diameter van de primaire deeltjes bedraagt voor de Belgische kustzone ongeveer 2 μm .

Een andere gevoelige parameter in vergelijking 3.10 is de fractale dimensie. Winterwerp (1998) heeft aangetoond dat de meeste natuurlijke vlokken een fractale dimensie hebben die gelegen is tussen 1.7 en 2.3 en stelt een constante fractale dimensie van 2 voor als representatief voor vlokken. In enkele papers wordt de fractale dimensie als een functie van de vloggrootte beschreven wat een verbetering van de nauwkeurigheid van de berekening tot gevolg heeft (Khelifa & Hill 2006; Maggi 2007; Kumar et al. 2010; Strom & Keyvani 2011). Khelifa & Hill (2006) en Maggi (2007) maken beide gebruik van van een power-law functie:

$$nf = \delta \left(\frac{D_v}{D_p} \right)^\xi \quad (3.11)$$

waarbij δ de fractale dimensie is van de primaire deeltjes ($=3$) en ξ is een verhouding die een maat van de afwijking van het principe van self-similarity van de vlokken is. Voor kaolinietvlokken werd dit experimenteel bepaald als -0.1 (Maggi 2007). Interessant om te vermelden is dat Maggi's model opgesteld werd om fractale dimensies berekend uit 2D beelden, te verklaren. Khelifa & Hill (2006) hebben ξ berekend met behulp van een karakteristieke vloggrootte, D_{vc} , en een karakteristieke fractale dimensie, nf_c :

$$\xi = \frac{\log(nf_c / 3)}{\log(D_{vc} / D_p)} \quad (3.12)$$

Zij suggereren $D_{vc}=2000 \mu\text{m}$ en $nf_c=2$ als beste fit voor hun dataset. Kumar et al. (2010) beschrijven verschillende eigenschappen voor twee groepen van fractale dimensies als functie van vloggrootte, namelijk voor vlokken kleiner dan 200 μm is een variabele nf nodig om rekening te houden met de veranderingen in effectieve dichtheid. Voor grotere vlokken, lijkt een constante fractale dimensie voldoende te zijn om de effectieve dichtheid te beschrijven. Om deze observaties te modelleren maakten zij gebruik van een gewijzigd Khelifa & Hill (2006) model door te veronderstellen dat de fractale dimensie een functie is van de fractale dimensie van een niet dimensionele vloggrootte, $D_v^* = (D_v - D_p) / D_p$, en dat dit verband als een exponentiële afname geschreven kan worden:

$$nf = (3 - nf_c) e^{-kD_v^*} + nf_c \quad (3.13)$$

De vergelijking beschrijft de verandering in fractale dimensie van $nf=3$ tot nf gelijk aan een constante karakteristieke fractale dimensie, nf_c . Kumar et al. (2010) vermelden een waarde van nf_c van 1.95 en van D_v^* van 200 μm . Het verschil tussen vergelijking 3.11 en 3.13 is dat de fractale dimensie in vergelijking 3.11 blijft dalen bij grotere vlokken terwijl in vergelijking 3.13 een constant fractale dimensie wordt bereikt.

3.2.2. Toepassing op LISST data

Recent zijn enkele studies verschenen waarin een methode wordt voorgesteld om de valsnelheid te berekenen voor een partikelgrootteverdeling. In Lee et al. (2012) wordt een valsnelheid, $w_{s,i}$ berekend voor de vier (of meer) aggregaatgroepen bekomen met curve-fitting, zodat de valsnelheid ook een verdeling kent. Deze methode is ook te gebruiken om de valsnelheid van elke van de 32 klassen van de LISST te berekenen. De settling flux per klasse kan dan berekend worden door de valsnelheid te vermenigvuldigen met de volumeconcentratie van de overeenkomstige LISST klasse, de totale settling flux is dan de som van de individuele fluxen. Lee et al. (2012) hebben aangetoond dat deze werkwijze een nauwkeurigere valsnelheid geeft vergeleken met het berekenen van de valsnelheid uit één parameter zoals de gemiddelde. Zij besluiten dat gebruik van vier aggregaatgroepen een goede benadering voor de settling flux van een multimodale PGV.

Om deze methode te kunnen gebruiken dienen een aantal aanames gemaakt te worden. Zo moet de fractale dimensies van de vier aggregaatgroepen (of de LISST klassen) gekozen worden. Voor onze berekeningen hebben we voor de minder poreuze bouwstenen van het SPM (primaire deeltjes en flocculi) een nf van 3 en 2.2 gekozen en voor de micro- en macrovlokken een van 1.95 en 1.8 respectievelijk. Deze keuze is gebaseerd op literatuur (Lee et al. 2012), maar ook fijngesteld door een vergelijking met de methode van Markussen & Andersen (2013) uit te voeren.

Markussen & Andersen (2013) stellen een methode voor om de valsnelheid per klasse van de LISST te berekenen, maar doen dit met behulp van een dichtheitsfunctie. Met deze dichtheitsfunctie (of verdeling) wordt eerst de massaverdeling berekend door de dichtheid te vermenigvuldigen met de volumeconcentratie per klasse. Uiteindelijk wordt de valsnelheidsverdeling bekomen met behulp van de wet van Stokes. De dichtheitsfunctie wordt als volgt berekend:

$$\rho_i = b D_i^a \quad (3.14)$$

waarbij $a = \frac{\log(\rho_v/\rho_p)}{\log(D_v/D_p)}$ en $b = \frac{\rho_p}{D_p^a}$ de constanten van de power law zijn. Er zijn twee

condities nodig om de dichtheitsfunctie op te stellen. We kunnen hiervoor de (gemeten) gemiddelde grootte en dichtheid van de primaire deeltjes en de gemiddelde vloggrootte (D_{vol}) en dichtheid gemeten met de LISST en de OBS nemen. De primaire partikels zijn de ondergrens, kleinere partikels hebben dezelfde dichtheid als de primaire partikels. De gemiddelde vloggrootte is de volume gemiddelde grootte van de PGV (vgl 3.1). De gemiddelde effectieve dichtheid van de vlokken ($\Delta\rho$) kan berekend worden uit de met de LISST gemeten volumeconcentratie van de vlokken (V_v) en SPM massaconcentratie (M_p) bekomen met optische en/of akoestische backscatter (OBS, ADP) of transmissiesignalen (LISST). De effectieve dichtheid $\Delta\rho = \rho_v - \rho_w$ met ρ_w de water- en ρ_v de vlogdichtheid kan als volgt geschreven worden:

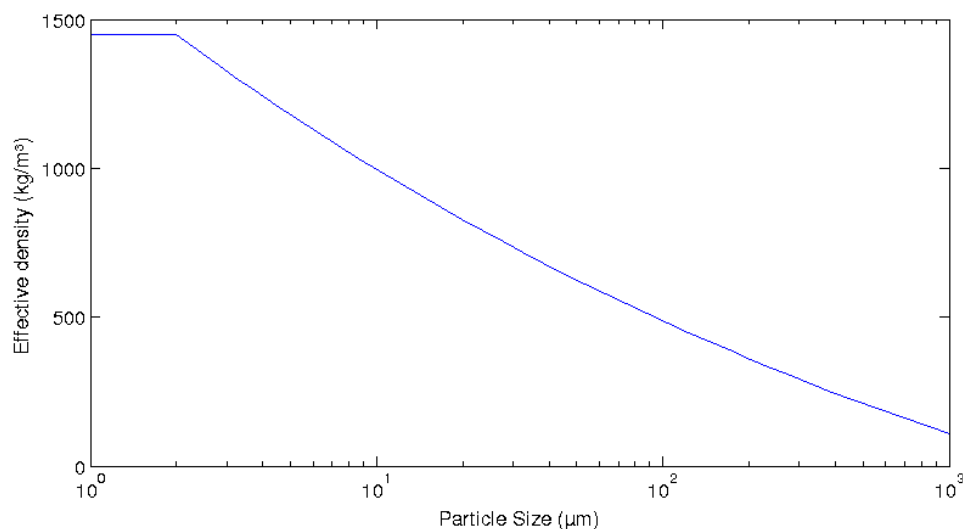
$$\rho_v = \frac{M_v}{V_v} = \frac{M_p + M_w}{V_p + V_w} \quad (3.15)$$

Het volume van de vlokken is $V_v = V_p + V_w$, met V_p en V_w het volume van de primaire partikels en het water in de vlokken per eenheid volume. De massaconcentratie van de vlokken (M_v) is dan $M_v = M_p + M_w$ met M_p en M_w de massa van de primaire partikels en het water in de vlokken respectievelijk per eenheid volume. De massaconcentratie van de primaire partikels en van het water in de vlok is $M_p = \rho_p V_p$ en $M_w = \rho_w V_w$. Omdat V_v en M_p werden gemeten, ρ_p afgeleid werd uit de analyseresultaten en ρ_w uit de saliniteit en de

temperatuur kan worden berekend (ongeveer 1025 kg/m³), kan de vlokdensiteit (vgl. 3.15) worden berekend, mits M_v als volgt te berekenen:

$$M_v = M_p + M_w = M_p + \rho_w (V_v - V_p) = M_p + \rho_w \left(V_v - \frac{M_p}{\rho_p} \right) \quad (3.16)$$

Met deze twee gekende condities (ρ_p - D_p , ρ_v - D_v) kan dan de densiteit voor de LISST klassen berekend worden. Voor de eerste conditie, gebaseerd op de primaire partikels kunnen we aannemen dat ze niet veranderd tijdens de meting. Dit is hoogstwaarschijnlijk correct voor kortdurende metingen, maar het is op dit moment niet duidelijk wat de variabiliteit van de primaire partikels is voor lange tijdschalen. De volume gemiddelde vloggrootte en densiteit verandert elke tijdstap van de meting. Deze methode kan ook toegepast worden op de verdeling bekomen met de curve fitting. Het aantal klassen reduceert dan tot vier. We hebben deze methode toegepast op de langdurige meetreeksen, maar konden niet altijd een realistisch verband tussen densiteit en partikelgrootte opstellen. De reden hiervan is momenteel onduidelijk, maar ligt in de onnauwkeurigheid van een van de meetinstrumenten en/of methodes. Om dit te omzeilen hebben we voor de berekeningen eenzelfde relatie voor de densiteit in functie van de partikelgrootte gebruikt. Deze veronderstelt dat de effectieve densiteit van de primaire partikels 1425 kg/m³ bedraagt en deze van vlokken met een grootte van 2 mm 75 kg/m³ (water densiteit is 1025 kg/m³), zie Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Effectieve densiteit i.f.v. de vloggrootte voor de bepaling van de valsnelheid volgens Markussen & Andersen (2013). De effectieve densiteit van de primaire deeltjes is 1425 kg/m³ en voor vlokken groter dan 2 mm 75 kg/m³.

3.3. Turbulentie

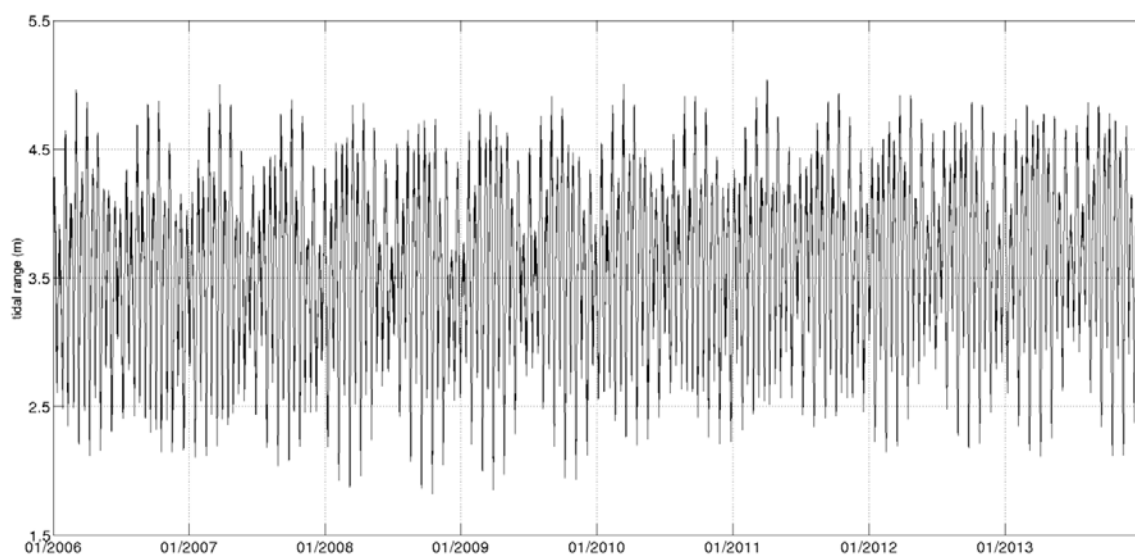
De turbulentie controleert de flocculatie van het fijnkorrelige materiaal en heeft aldus een impact op het verticale en horizontale SPM transport in kustgebieden. Kennis van de turbulentie is nodig om de data juist te kunnen interpreteren. De grootte van de kleinste dissiperende wervels in de stroming (ook Kolmogorov turbulentie microschaal, λ_k) beperkt over het algemeen de grootte van de vlokken en is daarom een cruciale parameter (van Leussen 1999; Cross et al. 2013). Turbulentie wordt beïnvloed door getij, wind en golven. De Kolmogorov microschaal werd berekend met behulp van de operationele implementatie van het 3D hydrodynamisch COHERENS model voor het Belgisch continentaal plat, OPTOS-BCS (Luyten et al. 2013). Het gebruikte turbulence closure

schema beschrijft de turbulente energie dissipatie (ε) als een product van de snelheid (gelijk aan de vierkantswortel van de derde macht van de turbulente kinetische energie, k) en een lengteschaal (mixing length, l), volgens $\varepsilon = \varepsilon_0 k^{3/2} / l$. De turbulente kinetische energie wordt berekend door een transportvergelijking op te lossen waarbij de mixing length berekend wordt met een algebraïsche formule (Mellor & Yamada, 1974).

4. Dataklassificatie

Bij een grootte hoeveelheid aan data dringt zich enige vorm van klassificatie op. De beschikbare data omvatten 1392 (LISST) tot 2428 (ADP) getijcycli gemeten tijdens verschillende seizoenen, getijomstandigheden en meteorologische condities. Aan elke getijcyclus werden classificatieparameters toegekend om rekening te kunnen houden met de seizoenen, getijamplitude en de residuele alongshore stroming.

Klassificatie in **seizoenen** werd beperkt tot twee periodes, met name een periode met een lagere SPM concentratie in de waterkolom (zomer, April-September) en een periode met een hogere SPM concentratie (winter, Oktober-Maart). Deze indeling komt overeen met een periode van lage (winter) en hoge biologische activiteit (zomer). De **getijamplitude** werd berekend met het harmonisch getijsignaal te Zeebrugge en dan gegroepeerd volgens de P90 (4.41 m), P66 (3.95 m), P33 (3.31 m) en P10 (2.70 m) percentilen in een super-spring tij (SS, >P90), spring tij (SP, P90-P66), gemiddeld tij (MT, P66-P33), doottij (NT, P33-P10) en super doottij (SN, <P10). Deze indeling in spring, gemiddeld en doottij komt niet noodzakelijk overeen met de astronomische definitie van een springtij-doottij cyclus, omdat sommige astronomische spring- of doottijden een voldoende lage of hoge getijamplitude hebben om in de groep van de gemiddelde getijden te belanden. Merk ook op dat de getijamplitude een halfjaarlijkse cyclus heeft in de Belgische kustzone (Figuur 4.1). De hoogste en laagste getijamplituden komen voor rond de equinoxen, dus omstreeks Maart en September. Het histogram (Figuur 4.2) toont dat de getijamplituden iets groter zijn in de zomer dan in de winter en dat de getijamplituden tijdens onze metingen een gelijkaardige verdeling hebben dan de verdeling over de periode 2006-2013.

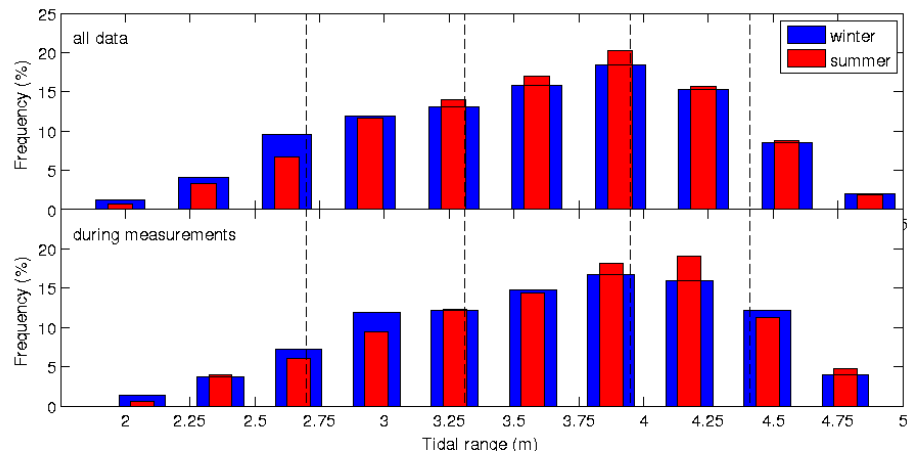


Figuur 4.1: Harmonische getijamplitude voor 2006-2013 te Zeebrugge.

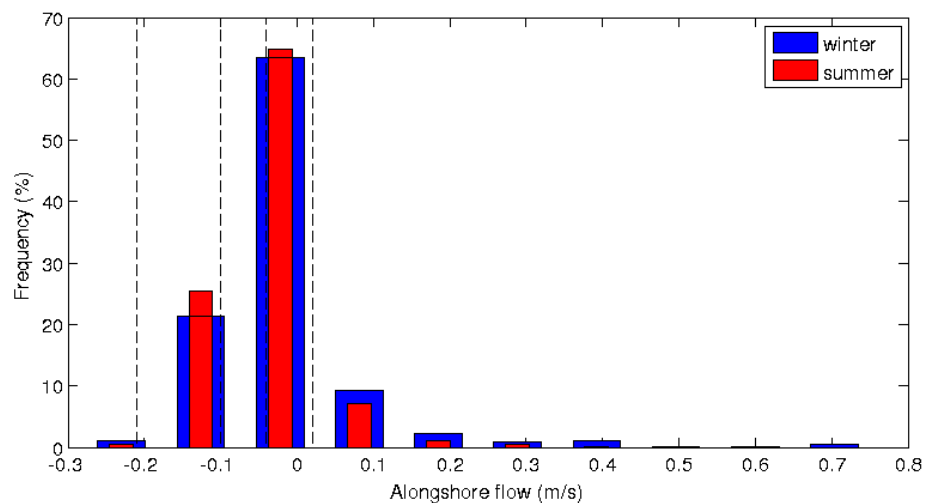
De invloed van weerspatronen op de SPM concentratie werd nagegaan door de getijcycli te groeperen volgens de richting van de **residuele alongshore stroming**. De richting van deze residuele stroming wordt bepaald door de windrichting en is aldus een indicatie van de overheersende winden. Voor elke getijcyclus werd deze residuele stroming berekend uit de ADP stroomsnelheidsdata met behulp van de PL64 low-pass filter (Flagg et al. 1976). Vervolgens werden de getijcycli geklasseerd in twee groepen, zie Figuur 4.3. Een negatieve alongshore stroming duidt op een residuele stroming naar het SW en een positieve naar het NE; SW-NE komt overeen met de richting van de kustlijn. De

residuele alongshore stroming ter hoogte van het meetpunt MOW1 is in 85% van de tijd gericht naar het SW, dus in ebrichting. Merk op dat een positieve (negatieve) residuele alongshore stroming iets frequenter is in winter (zomer).

De drie classificatieparameters werden gecombineerd, waardoor een getijcyclus tot een twintigtal verschillende klassen kan behoren. Elke getijcyclus start op hoogwater (HW) en eindigt op het volgende HW en werd 'resampled' om 50 data per tijdcyclus te bekomen (d.i. om de 15 minuten). De getijcycli behorend tot een bepaalde klasse werden dan gemiddeld en de standaardfout berekend. De standaardfout is de standaardafwijking van het gemiddelde. De standaardfout wordt in principe kleiner naarmate het aantal data groter wordt.



Figuur 4.2: Frequentie van de getijamplitude afgeleid uit het harmonisch getijsignaal voor de periode 2006-2013 (boven) en de overeenkomstige frequentieverdeling tijdens de metingen. De percentilen P90 (4.41 m), P66 (3.95 m), P33 (3.31 m) en P10 (2.70 m) worden ook getoond.

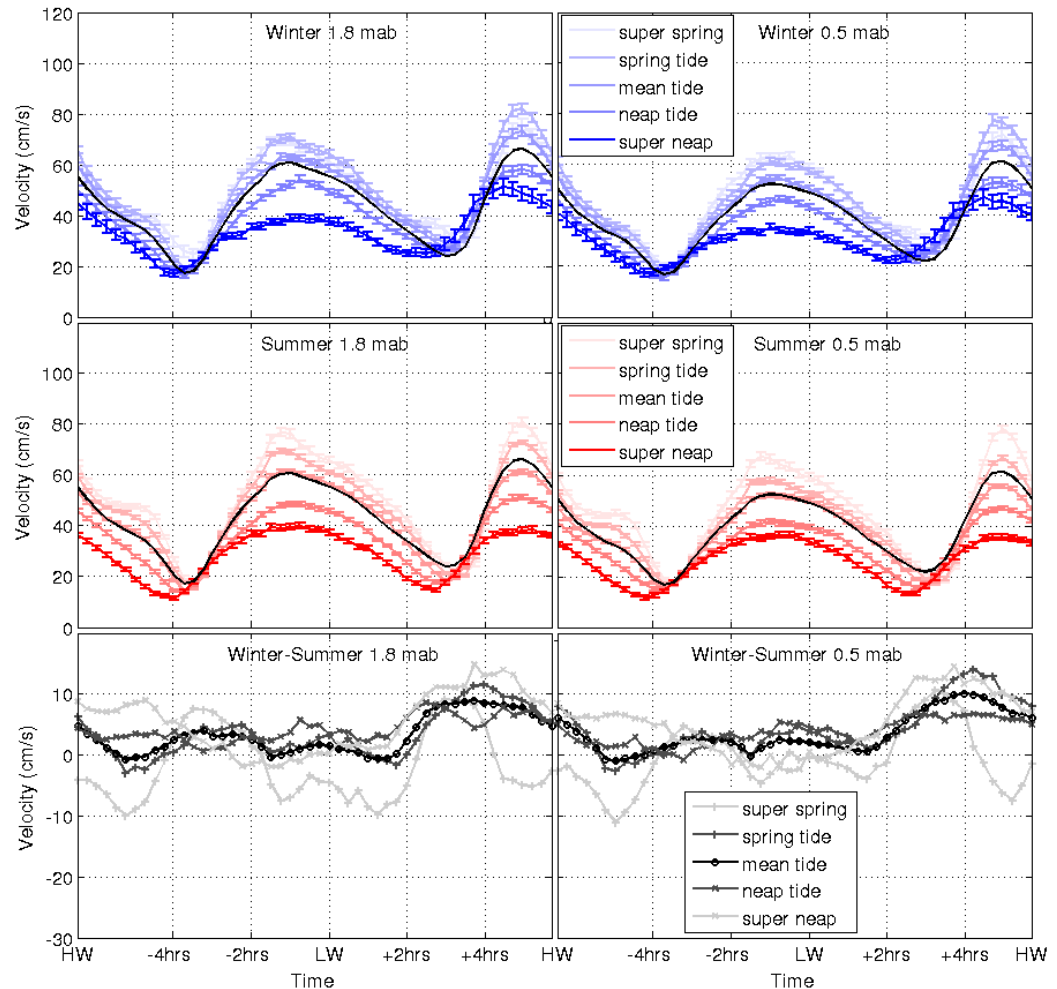


Figuur 4.3: Frequentie van de residuele alongshore. Negatieve waarden hebben een alongshore stroming naar het SW gericht; positieve naar het NE. De percentilen P90 (0.02 m/s), P66 (-0.04 m/s), P33 (-0.10 m/s) en P10 (-0.21 m/s) worden ook getoond.

5. Resultaten en discussie

5.1. Invloed van seizoenen en getijamplitude op de stroomsnelheid

De gemiddelde stroomsnelheid per getijcyclus in de zomer en de winter voor verschillende getijamplitude wordt getoond in Figuur 5.1. Kentering treed op rond 3 uur voor en na HW, de maximale stroming tijdens vloed (1 uur voor HW) is hoger dan deze tijdens eb (1 uur voor LW). Door de winter van de zomer af te trekken bekomen we het verschil tussen de seizoenen. Opmerkelijk is dat dit verschil relatief klein (<10 cm/s) is uitgezonderd bij eb-vloed kentering en bij maximale vloedstroming (3 uur voor HW tot HW) waar het verschil oploopt tot meer dan 10 cm/s. De reden hiervoor zijn nog onduidelijk.

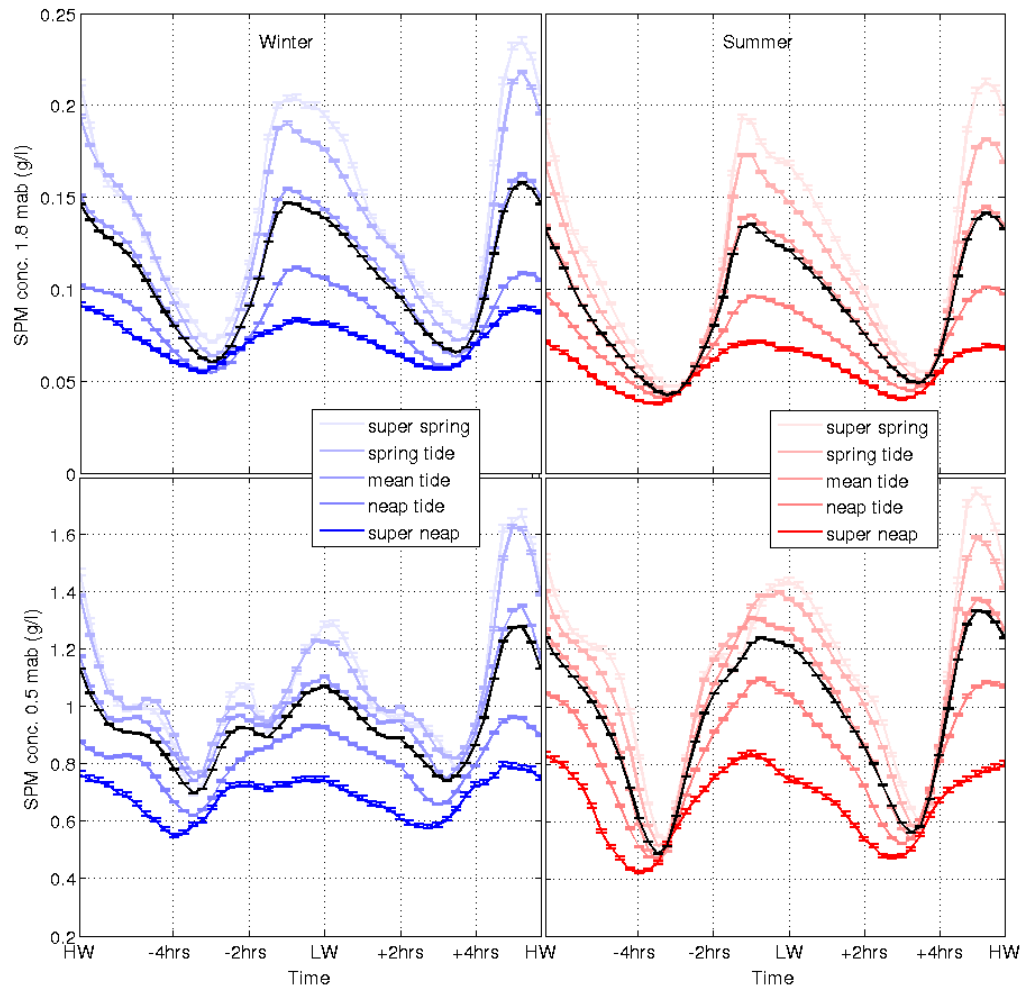


Figuur 5.1: Gemiddelde ADP stroomsnelheid op 1.8 en 0.5 mbb gedurende een getijcyclus in de winter en de zomer voor verschillende getijamplitudes. Ook aangeduid is de standaardfout. De zwarte lijn is de gemiddelde snelheid per seizoen. Onderaan wordt het verschil tussen winter en zomer getoond. Negatieve waarden hebben een hogere stroomsnelheid in de zomer en positieve een hogere in de winter.

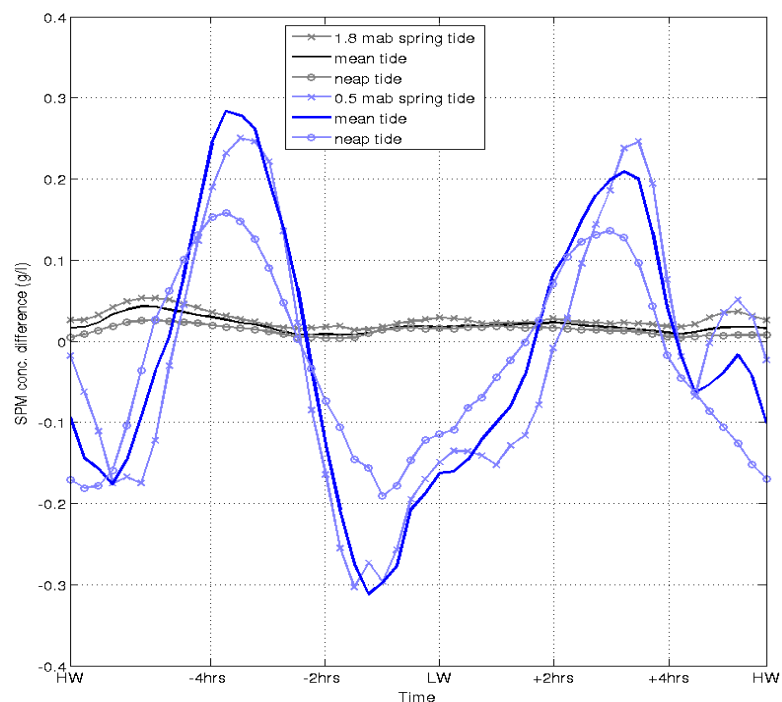
5.2. Invloed van seizoenen en getijamplitude op de SPM massa concentratie

De SPM massa concentratie tijdens een getij op 0.5 en 1.8 mbb afgeleid van de ADP backscatter voor verschillende getijamplituden en seizoenen wordt voorgesteld in Figuur 5.2. De SPM concentratie heeft een typische en gekende variatie in functie van eb en

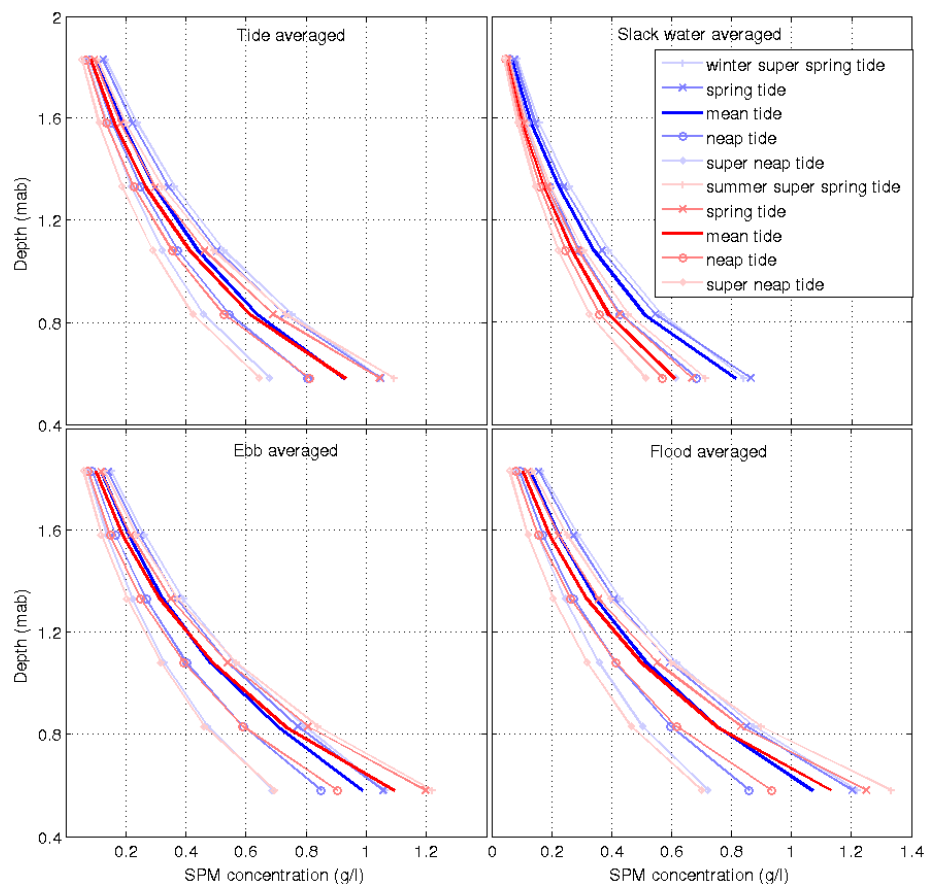
vloed en getijamplitude. De minimale SPM concentratie treed op rond kentering en de maximale rond maximale stroomsnelheid. De de piek SPM concentratie op 0.5 mbb treed iets vroeger op dan deze op 1.8 mbb, dit omdat het tijd vraagt om het geresuspendeerde materiaal in de waterkolom te mengen. De invloed van seizoenen op de SPM concentratie wordt ook verduidelijkt in Figuur 5.3, waar het verschil tussen de winter en de zomer wordt getoond. Men kan duidelijk zien dat de SPM concentratie dicht tegen de bodem hoger is in de zomer tijdens eb en vloed en hoger in de winter tijdens kentering. Het seizoenaal verschil verminderd met toenemende afstand van de bodem. Op 1.8 mbb is de SPM concentratie altijd hoger in de winter en dit gedurende de hele getijcyclus. De SPM concentratie werd gemiddeld over de getijcyclus, eb, vloed en kentering. De also bekomen verticale profielen van de onderste 2 m van de waterkolom zijn te zien in Figuur 5.4. De profielen tonen de niet-linear toename in SPM concentratie naar de bodem toe, dit in overeenstemming met het Rouse profile. Daarenboven tonen zij ook dat de SPM concentratie op 1.8 mbb altijd lager is tijdens de zomer, terwijl de seizoenale verschillen dicht tegen de bodem kleiner of zelfs omgekeerd zijn (zomer heeft hogere waarden dan winter). Indien we deze waarden extrapoleren naar de bodem toe, dan suggereren zij een frequenter voorkomen van een lutocline en dus van hoge SPM concentraties in de onderste 0.5 m boven de bodem in de zomer dan in de winter.



Figuur 5.2: Gemiddelde SPM massa concentratie afgeleid van de ADP backscatter op 1.8 en 0.5 mbb gedurende een getijcyclus in de winter (links) en de zomer (rechts) en dit voor verschillende getijamplitudes. Ook aangeduid is de standaardfout. De zwarte lijn is de gemiddelde SPM concentratie per seizoen.



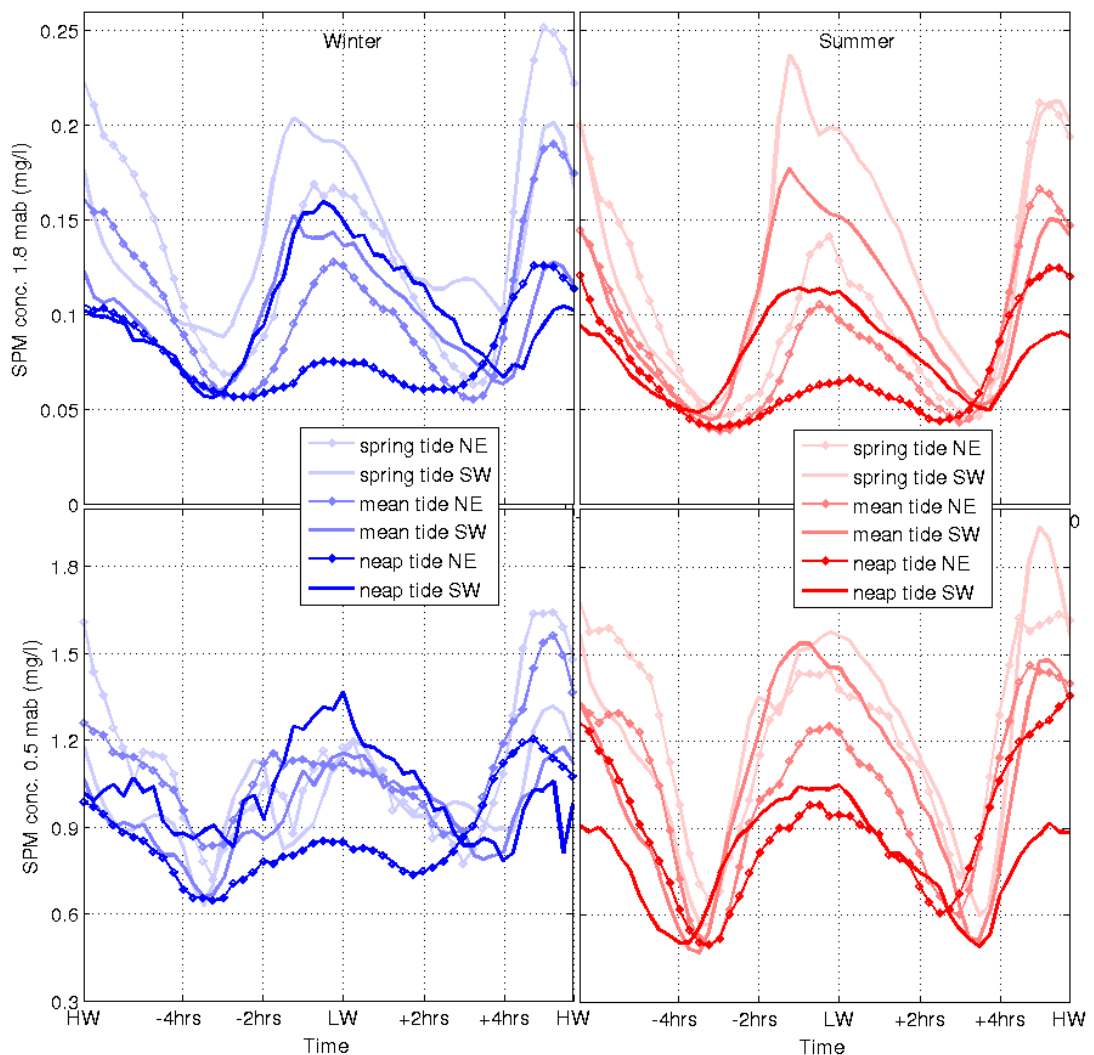
Figuur 5.3: Verschil tussen winter en zomer SPM concentratie op 1.8 en 0.5 mbb voor springtij, gemiddeld tij en doottij. Negatieve waarden hebben een hogere SPM concentratie in de zomer en positieve in de winter.



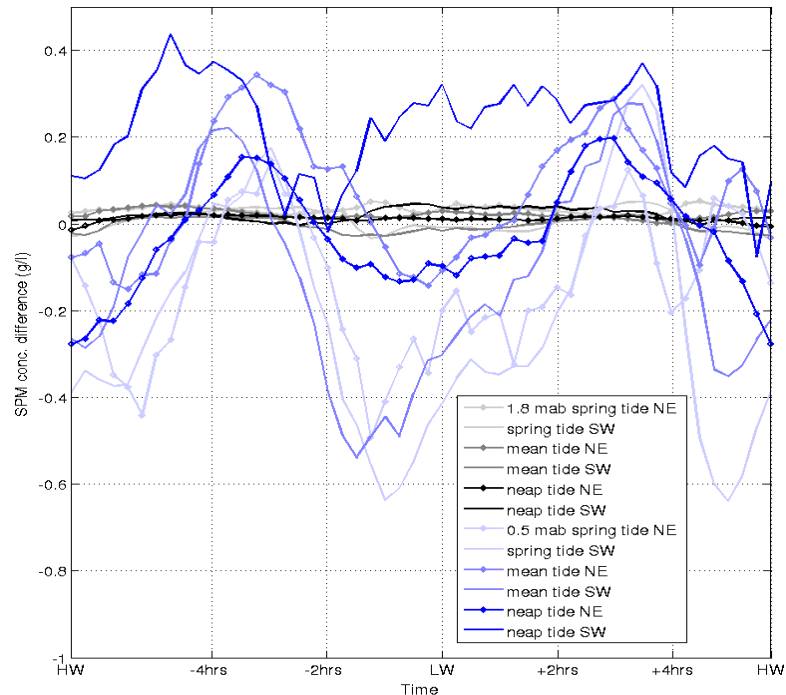
Figuur 5.4: Gemiddelde SPM concentratie profielen tijdens een getij, kentering, eb en vloed in winter (blauw) en zomer (rood) en voor verschillende getijamplituden.

5.3. Invloed van seizoenen en alongshore stroming op de SPM massa concentratie

De effecten van de residuele alongshore stroming op de SPM massa concentratie worden getoond in Figuren 5.5 en 5.6 (verschil tussen zomer en winter). De alongshore stroming verandert de SPM concentratie tijdens eb en vloed. De SPM concentratie is over het algemeen hoger als de stroming in dezelfde richting staat als de alongshore stroming. Voor eb worden de hoogste SPM concentraties dus opgetekend tijdens een SW-waarts gerichte en voor vloed tijdens een NE-waarts gerichte residuele alongshore stroming. De eb-dominantie is meer uitgesproken in de zomer en de vloed dominantie meer in de winter. Het verschil in SPM concentratie tussen zomer en winter (Figuur 5.6) heeft een gelijkaardig verloop als reeds hierboven getoond in Figuur 5.3. De seizoensaliteit is over het algemeen sterker tijdens een SW-waarts gerichte residuele alongshore stroming en dit zowel tijdens eb als tijdens vloed.



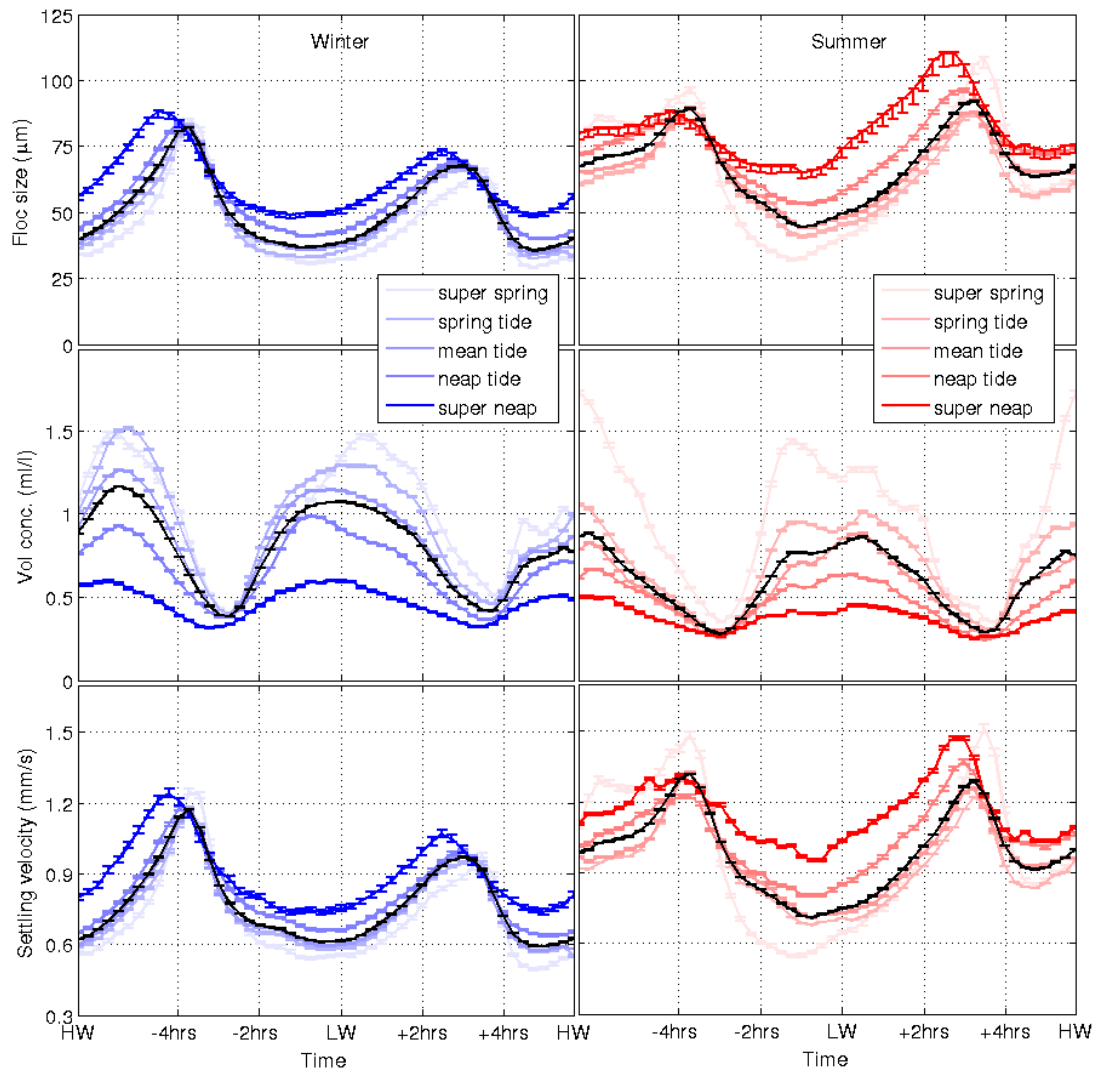
Figuur 5.5: Gemiddelde SPM massa concentratie afgeleid van de ADP backscatter op 1.8 en 0.5 mbb gedurende een getijcyclus in de winter (links) en de zomer (rechts) en dit voor verschillende getijamplitudes en voor twee verschillende residuele alongshore stromingen. Ook aangeduid is de standaardfout. De geplote data zijn de P90 (NE, 0.02 m/s) en P10 (-0.21 m/s, SW) percentilen.



Figuur 5.6: Verschil tussen winter en zomer SPM concentratie op 1.8 en 0.5 mbb voor springtij, gemiddeld tij en doottij en voor twee verschillende richtingen van de residuele alongshore stroming. Negatieve waarden hebben een hogere SPM concentratie in de zomer en positieve in de winter. De geplote data zijn de P90 (NE, 0.02 m/s) en P10 (-0.21 m/s, SW) percentilen.

5.4. Invloed van seizoenen en getijamplitude op de SPM volume concentratie, vlok grootte en valsnelheid

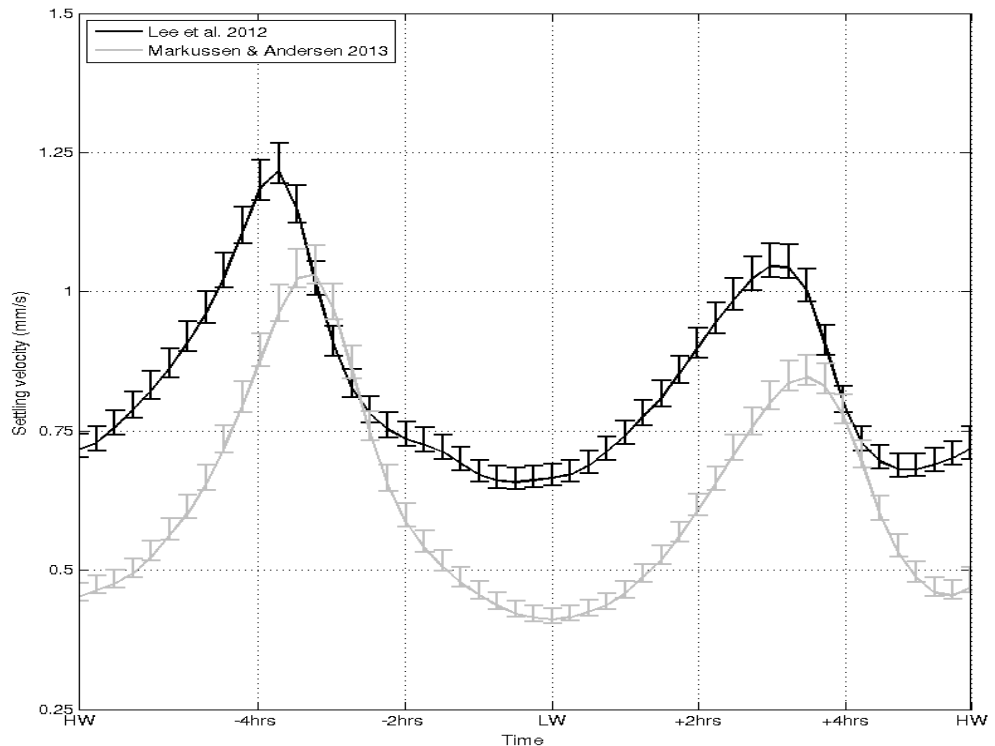
De geometrisch gemiddelde vlok grootte, SPM volume concentratie en valsnelheid op 2.2 mbb gedurende de winter en de zomer en voor verschillende getijamplituden wordt getoond in Figuur 5.7. Een eerste kijk op de figuur suggereert dat de seizoensgebonden verschillen meer uitgesproken zijn bij vlok grootte en valsnelheid dan bij de SPM volume concentratie. De SPM volume concentratie gedurende winter en zomer is inderdaad heel gelijkaardig in grootte, met over het algemeen lagere concentraties in de zomer. Dit komt overeen met de SPM massa concentratie gemeten op 1.8 mbb. De geometrisch gemiddelde vlok grootte is groter in de zomer dan in de winter. De grootste vlokken komen voor tijdens kentering en de kleinste tijdens maximale eb en vloedstroming. Het verloop van de vlok grootte tijdens een getijcyclus in de zomer is – in contrast met de winter – minder symmetrisch. Zo is de vlok grootte tijdens vloed in de zomer groter tijdens eb dan vloed, wat niet het geval is in de winter. Gelijkaardig zien we ook dat de vlok groottes tijdens eb-vloed kentering in de winter (3 uur voor HW) kleiner zijn dan deze gedurende de vloed-eb kentering (3 uur na HW); gedurende de zomer zijn de verschillen minder uitgesproken uitgezonderd bij de kleinste en grootste getijamplitudes. De valsnelheden zijn gelegen tussen 0.5 en 1.3 mm/s in de winter en 0.5 en 1.5 mm/s in de zomer (Figuur 5.7). Merk op dat de valsnelheden in de zomer groter zijn gedurende de hele getijcyclus. Een vergelijking van de valsnelheden volgens de methode van Lee et al. (2012) en Markussen & Andersen (2013) wordt getoond in Figuur 5.8. We zien dat beide methode tot ongeveer dezelfde resultaten komen (uiteraard), maar dat de methode van Lee et al. (2012) grotere valsnelheden berekend tijdens zowel eb als vloed.



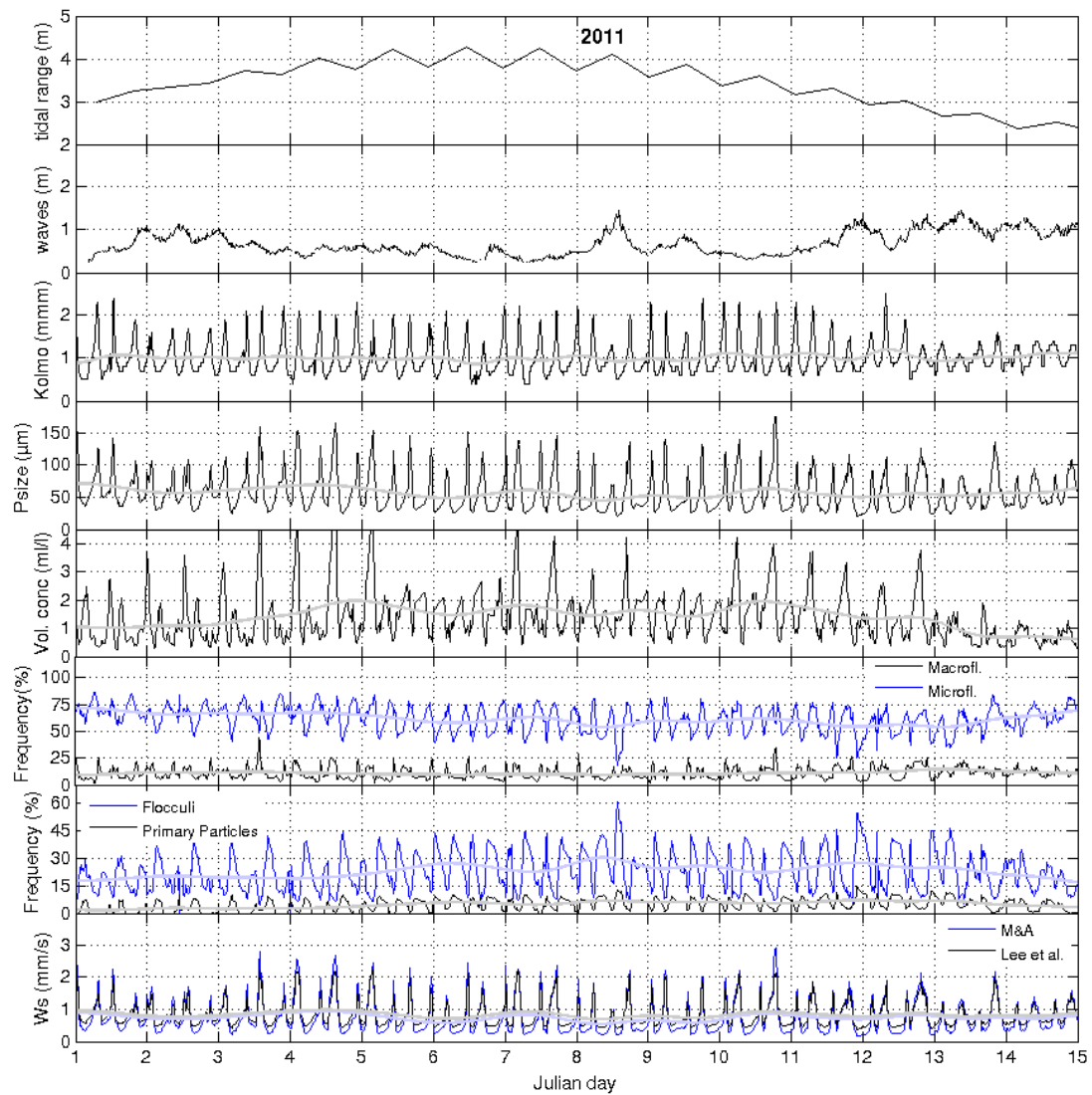
Figuur 5.7: Gemiddelde geometrische gemiddelde vloggrootte, SPM volume concentratie en valsnelheid volgens Lee et al. (2012) gedurende een getijcyclus in de winter (links) en de zomer (rechts) en dit voor verschillende getijamplitudes. Ook aangeduid is de standaardfout. De zwarte lijn is de gemiddelde waarde per seizoen.

De gemiddeld grotere vlokken in de zomer zijn het gevolg van een hogere frequentie aan macrovlokken en een grotere grootte van de micro- en macrovlokken in de zomer dan in de winter, zie Tabellen 5.1-5.2 en Figuren 5.9 en 5.10. In de figuren wordt de frequentie van de vier groepen uit de PGV (primary deeltjes, flocculi, microvlokken en macrovlokken) getoond tijdens een doottij-springtij cyclus in de winter en de zomer. Beide periodes zijn gekenmerkt door lage golven zodat de turbulentie vooral veroorzaakt wordt door de getijstrooming. Deze periodes kunnen als representatief aanzien worden voor de zomer en de winter, zie ook de tijdseries van alle metingen in Appendix 1. De figuren tonen dat de geometrisch gemiddelde vloggrootte afhankelijk is van de turbulentie (zoals weergegeven door de Kolmogorov microschaal). Een hoge turbulentie (ofwel kleine Kolmogorov lengteschaal) verkleint de geometrisch gemiddelde vloggrootte tot ongeveer 30 μm . Bij lage turbulentie neemt de vloggrootte toe tot ongeveer 180 μm . In Figuur 5.9 wordt een periode in de winter van 2011 (Januari) getoond, waar de primaire partikels en de flocculi tegenovergestelde variaties vertonen met de micro- en macrovlokken. Hoge frequenties aan micro- en macrovlokken samen met lage frequenties aan primaire partikels en flocculi

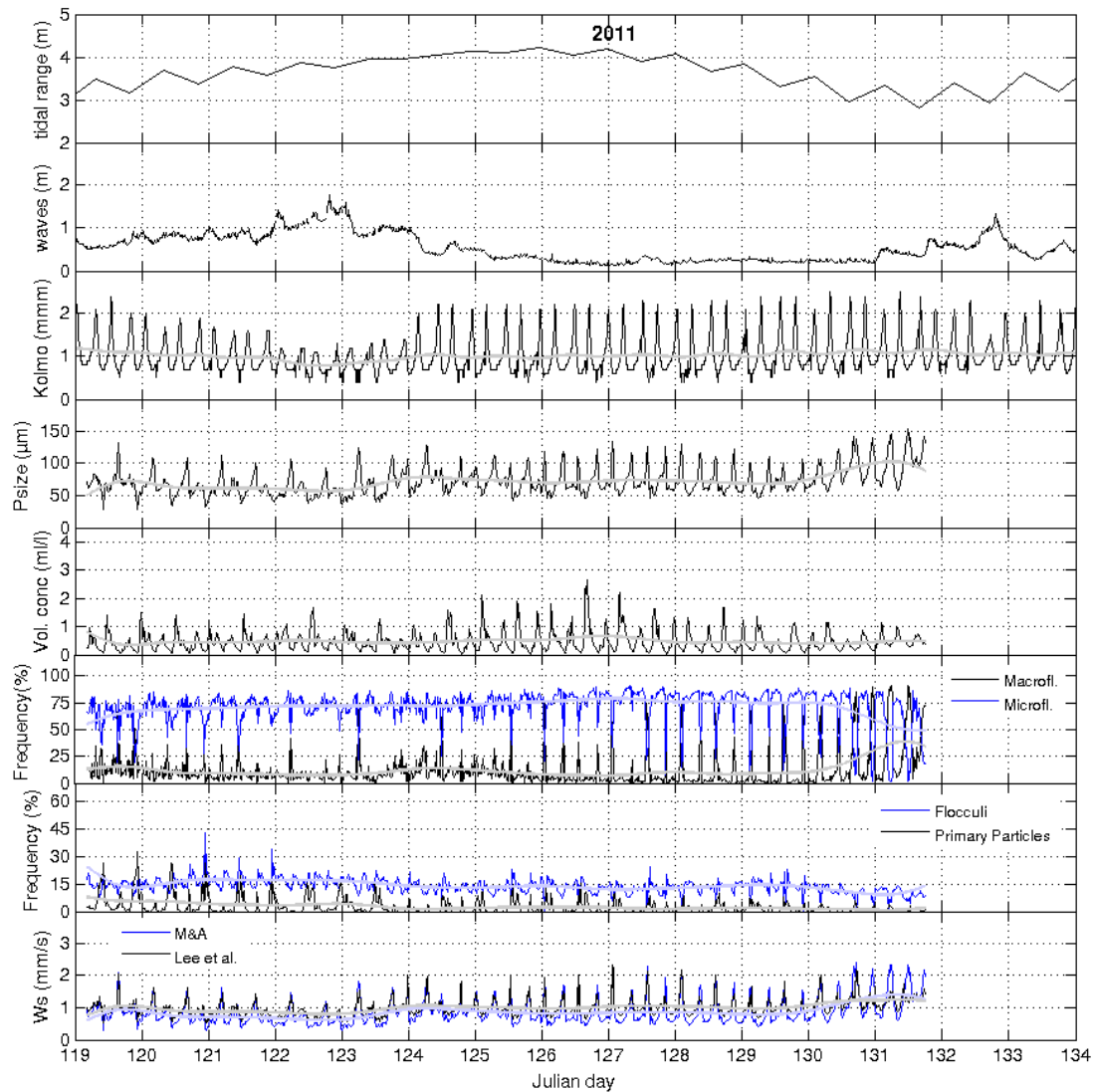
treden op tijdens kentering wanneer de turbulentie laag is. Hoge frequenties aan primaire partikels en flocculi samen met lage frequenties aan micro- en macrovlokken komen voor tijdens eb en vloed wanneer de turbulentie hoog is. Dit is in contrast met een periode in april 2011 (Figuur 5.10). Hier zien we dat bij lage turbulentie de variatie in frequentie van micro- en macrovlokken niet meer in concordantie is met elkaar, maar omgekeerd. De toename in macrovlokkenfrequentie wordt nu gecompenseerd door een afname van de microvlokkenfrequentie. Gedurende periodes met hoge turbulentie, wanneer de vlokken uiteenbreken, vergroot de frequentie aan microvlokken, flocculi en primaire partikels. De verschuiving van microvlokken naar macrovlokken tijdens een periode met lage turbulentie is deels het gevolg van de gekozen parameters voor de curve fitting (zie §3.1.2), maar weerspiegelt ook een fysieke veranderingen in flocculatiodynamica. De data duiden aan dat grotere vlokken gevormd worden tijdens kentering in de zomer door aggregatie van microvlokken en dat gedurende periodes met hoge turbulentie deze vlokken opbreken in microvlokken, flocculi en primaire partikels. In de winter merken we op dat de populatie aan vlokken voornamelijk bestaat uit microvlokken ontstaan door aggregatie van flocculi en primaire partikels. Wanneer de turbulentie toeneemt dan vallen de microvlokken terug uiteen in hun kleinere bouwstenen.



Figuur 5.8: Gemiddelde valsnelheid volgens Lee et al. (2012) en Markussen & Andersen (2013) gedurende een getijcyclus.



Figuur 5.9: Januari 2011, tijdserie van getijamplitude, significante golfhoogte, Kolmogorov microschaal, geometrisch gemiddelde vloggrootte, frequentie aan micro- en macrovlokken, frequentie aan flocculi en primaire partikelsry particles en de valsnelheid.



Figuur 5.10: April 2011, tijdserie van getijamplitude, significante golfhoogte, Kolmogorov microschaal, geometrisch gemiddelde vlok grootte, frequentie aan micro- en macrovlokken, frequentie aan flocculi en primaire partikelsry particles en de valsnelheid.

5.5. Discussie

De langdurige dataseries aan SPM concentration, vlog grootte en valsnelheid tonen een duidelijk seizoenaal signaal indien ze gegroepeerd worden per getijcyclus en dan uitgemiddeld worden. Deze representatieve getijcyli tonen dat gedurende de zomer de SPM concentratie hoger is dicht tegen de bodem, maar lager hoger in de waterkolom. Tijdens de winter zien we het omgekeerde. De vlog grootte en de valsnelheid hebben een tegengestelde seizoenaliteit: kleiner vlokken en dus lagere valsnelheden in de winter en grotere vlokken en dus hogere valsnelheden in de zomer. De in situ data betreffende SPM concentraties op 1.8 mbb komen overeen met de seizoenaliteit opgemerkt in de oppervlaktemetingen van satellieten (Nechad et al., 2011).

De verschillen in SPM concentratieprofielen tussen zomer en winter (Figuur 5.4) geven een indicatie dat het evenwicht tussen turbulente menging van het SPM (opwaartse flux) en de valsnelheid (neerwaartse flux) veranderd is. Indien de profielen naar de bodem toe worden geëxtrapoleerd, dan suggereren zij dat de lutocline op een hogere afstand boven

Tabel 5.1: Winter gemiddelde data, frequentie aan primaire deeltjes (PP), flocculi, micro- en macrovlokken, grootte van micro- en macrovlokken (PP=3µm, Flocculi=15µm) en valsnelheid (w_s).

	PP (%)	Flocculi (%)	Micro (µm)	Micro (%)	Macro (µm)	Macro (%)	w_s (mm/s)	w_s (mm/s)
all data								
2006-2013	6.2±4.8	21.1±12.4	66±30	61.2±15.0	278±87	11.5±10.7	0.77*/1.50	0.55*/1.97
2006	6.6±3.6	18.1±10.5	74±25	55.7±13.6	310±83	19.6±17.4	0.92*/1.48	0.73*/2.02
2007	7.1±4.9	22.0±12.3	59±27	61.7±15.8	254±59	9.2±6.9	0.68*/1.41	0.46*/1.75
2008	7.4±4.3	20.4±9.4	58±20	58.8±12.8	259±60	13.3±8.3	0.72*/1.32	0.54*/1.62
2009	6.7±4.9	20.2±13.3	80±39	60.9±15.2	267±52	12.2±7.4	0.89*/1.02	0.72*/1.31
2010	5.5±4.2	20.2±10.6	67±29	63.5±12.9	262±57	10.9±7.8	0.77*/1.44	0.58*/1.88
2011	6.2±4.8	21.1±12.4	66±30	61.2±15.0	278±87	11.5±10.7	0.77*/1.50	0.55*/1.97
2012	7.8±5.4	26.2±15.5	60±27	57.4±17.5	253±80	8.6±11.9	0.65*/1.51	0.40*/2.16
2013	6.0±5.1	18.9±12.4	71±33	59.3±15.7	341±120	15.8±13.7	0.90*/1.55	0.64*/1.95
$h_s < 0.75m$								
2006-2013	5.6±4.6	20.4±12.0	71±33	63.5±14.8	283±87	10.5±11.0	0.80*/1.53	0.56*/2.00
2006	5.5±2.9	17.0±11.3	85±31	53.1±12.9	337±83	24.4±18.7	1.06*/1.53	0.92*/2.20
2007	5.6±4.5	19.5±10.4	67±31	37.3±13.1	266±68	7.6±6.6	0.75*/1.46	0.51*/1.85
2008	6.0±3.9	19.1±8.5	67±24	63.0±12.9	278±75	11.9±9.0	0.80*/1.36	0.61*/1.71
2009	5.8±4.7	17.0±10.3	87±39	64.9±12.9	275±49	12.3±7.5	0.95*/1.52	0.80*/1.95
2010	4.9±4.0	19.0±10.2	74±33	66.3±13.2	274±64	9.9±8.1	0.83*/1.46	0.63*/1.91
2011	5.6±4.6	20.4±12.0	71±33	63.5±14.8	283±87	10.5±11.0	0.80*/1.53	0.56*/2.00
2012	7.4±5.2	25.6±15.3	63±30	59.2±17.0	256±80	7.9±11.2	0.67*/1.55	0.42*/2.23
2013	5.5±5.1	17.9±11.6	77±36	61.4±15.9	340±117	15.2±14.7	0.94*/1.57	0.68*/1.99
$0.75 < h_s < 1.5m$								
2006-2013	6.4±4.7	21.0±12.2	62±25	60.3±14.2	277±87	12.3±10.4	0.76*/1.46	0.54*/1.97
2006	7.3±3.7	18.3±9.7	67±17	57.7±14.0	297±82	16.7±16.3	0.84*/1.42	0.64*/1.86
2007	7.4±4.9	22.7±13.2	54±17	60.3±15.9	246±49	9.6±6.8	0.65*/1.34	0.43*/1.70
2008	7.2±4.1	19.1±8.5	58±16	60.1±11.3	257±51	13.6±7.8	0.73*/1.29	0.56*/1.60
2009	8.5±4.8	24.5±15.5	67±32	55.6±16.0	255±56	11.4±6.8	0.73*/1.51	0.52*/2.05
2010	6.0±4.4	20.8±10.6	63±26	62.0±12.0	255±50	11.3±7.4	0.74*/1.42	0.55*/1.87
2011	6.4±4.7	21.0±12.2	62±25	60.3±14.2	277±87	12.3±10.4	0.76*/1.46	0.54*/1.96
2012	9.1±6.2	27.4±15.8	54±19	54.7±17.2	242±73	8.8±12.5	0.61*/1.43	0.36*/2.06
2013	6.1±4.8	19.1±12.5	67±29	58.2±14.9	341±122	16.6±13.0	0.89*/1.52	0.62*/1.94
$h_s > 1.5m$								
2006-2013	7.7±5.2	24.5±13.9	53±18	54.2±15.3	263±85	13.6±9.7	0.67*/1.38	0.54*/1.86
2006	7.8±4.0	21.0±10.9	64±7	54.8±12.4	271±54	16.4±13.2	0.80*/1.32	0.62*/1.69
2007	10.0±4.1	16.9±13.7	47±14	50.8±14.9	236±39	12.2±6.4	0.59*/1.23	0.39*/1.47
2008	9.8±4.2	24.1±10.8	45±7	51.3±11.6	234±35	14.9±7.8	0.61*/1.21	0.45*/1.54
2009	8.9±5.0	33.4±15.8	64±37	43.4±13.7	240±50	14.4±8.5	0.66*/1.53	0.44*/2.21
2010	6.0±4.2	22.8±11.3	53±17	57.9±12.1	243±41	13.3±6.8	0.68*/1.32	0.53*/1.72
2011	7.7±5.2	24.5±13.9	53±18	54.2±15.3	263±85	13.6±9.7	0.67*/1.39	0.54*/1.86
2012	7.5±6.2	27.0±15.9	53±16	52.4±19.9	262±97	13.1±14.5	0.64*/1.41	0.52*/1.91
2013	7.3±5.5	22.4±14.1	58±24	54.8±16.1	344±128	15.5±11.5	0.80*/1.48	0.55*/1.77

Tabel 5.2: Zomer gemiddelde data, frequentie aan primaire deeltjes (PP), flocculi, micro- en macrovlokken, grootte van micro- en macrovlokken (PP=3µm, Flocculi=15µm) en valsnelheid (w_s).

	PP (%)	Flocculi (%)	Micro (µm)	Micro (%)	Macro (µm)	Macro (%)	w_s (mm/s)	w_s (mm/s)
all data								
2006-2013	4.2±4.3	14.9±7.8	82±33	66.3±15.0	319±91	14.6±15.1	0.98*/1.43	0.80*/1.82
2006	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	4.7±3.8	15.8±6.4	69±31	71.9±12.6	313±94	7.6±12.7	0.80*/1.39	0.57*/1.69
2008	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	4.6±4.0	15.1±6.7	78±26	69.4±13.1	309±72	10.9±12.5	0.92*/1.34	0.75*/1.62
2010	3.9±3.0	14.3±8.2	87±34	63.7±17.4	307±102	18.0±14.6	1.05*/1.36	0.92*/1.60
2011	4.2±4.3	14.9±7.8	82±33	66.3±15.0	319±91	14.6±15.1	0.98*/1.43	0.80*/1.82
2012	5.7±4.8	15.3±9.4	87±33	67.0±14.6	320±77	12.1±12.1	0.99*/1.45	0.84*/1.85
2013	3.8±4.3	13.9±7.6	92±38	68.1±13.9	348±99	14.2±15.0	0.65*/1.51	0.40*/2.16
$h_s < 0.75m$								
2006-2013	4.0±4.2	14.1±7.8	86±35	67.1±15.9	324±94	14.8±16.8	1.02*/1.44	0.81*/1.82
2006	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	4.3±3.8	15.1±6.0	69±33	72.6±13.4	320±98	7.9±14.2	0.81*/1.40	0.58*/1.71
2008	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	4.9±4.0	14.6±6.9	81±27	70.0±13.9	316±72	10.6±13.3	0.93*/1.35	0.76*/1.50
2010	3.3±2.8	11.3±5.5	95±34	67.9±16.4	324±99	17.5±16.3	1.14*/1.32	1.04*/1.57
2011	4.0±4.2	14.1±7.8	86±35	67.1±15.9	324±94	14.8±16.8	1.02*/1.44	0.81*/1.82
2012	5.7±4.8	15.2±9.6	89±34	66.7±14.9	318±80	12.3±12.9	1.01*/1.46	0.86*/1.89
2013	3.1±3.8	13.3±7.6	95±39	68.8±15.0	351±103	14.8±16.8	1.11*/1.51	0.95*/1.90
$0.75 < h_s < 1.5m$								
2006-2013	4.6±4.4	16.2±7.6	77±29	65.4±12.8	311±84	13.8±11.4	0.94*/1.38	0.78*/1.81
2006	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	5.8±3.7	17.3±7.3	67±25	70.2±9.9	293±81	6.7±7.5	0.77*/1.35	0.53*/1.63
2008	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	3.7±4.0	16.5±6.0	73±23	67.9±10.4	291±67	11.9±9.8	0.87*/1.29	0.73*/1.51
2010	5.1±2.5	20.6±7.8	69±23	55.2±14.5	272±99	19.0±9.2	0.87*/1.28	0.71*/1.41
2011	4.6±4.4	16.2±7.6	77±29	65.4±12.8	311±84	13.8±11.4	0.94*/1.38	0.78*/1.81
2012	5.5±4.8	15.6±9.3	83±29	67.4±14.0	325±72	11.6±10.2	0.97*/1.40	0.81*/1.76
2013	5.1±4.9	15.0±7.6	87±34	66.9±11.5	343±91	13.0±10.6	1.03*/1.44	0.87*/1.78
$h_s > 1.5m$								
2006-2013	5.7±4.1	20.7±9.1	60±16	54.8±14.1	284±88	18.8±9.9	0.82*/1.35	0.80*/1.61
2006	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	6.6±2.7	26.7±9.2	55±9	45.5±13.0	229±72	21.2±5.4	0.73*/1.17	0.55*/1.26
2011	5.7±4.1	20.7±9.1	60±16	54.8±14.1	284±88	18.8±9.9	0.82*/1.35	0.80*/1.61
2012	6.0±2.3	11.9±2.1	79±11	73.3±4.5	324±19	19.0±8.8	0.96*/1.16	0.88*/1.29
2013	10.6±8.4	15.8±9.6	81±32	53.6±11.5	305±20	20.0±3.3	0.97*/1.40	1.36*/1.49

de bodem voorkomt in de zomer dan in de winter en dat er dus hogere SPM concentraties in de onderste 0.5 m boven de bodem te verwachten zijn in de zomer. Lutoclines, die als een akoestische reflector fungeren, werden waargenomen op de meetlocatie in het ADP en ADV signaal (Baeye et al. 2011). Variaties in turbulente menging wordt veroorzaakt door getijstromingen, springtij-doodtijcyclus, wind en golven. Flocculatie en dus de valsnelheid van de vlokken variëren samen met deze fysische parameters alsook met de aanwezigheid van microbiele producten (Maggi 2009). Windregime en sterkte, golfwerking en biologische activiteit hebben een seizoenaal signaal in de Belgische kustzone. De seizoenaliteit in golfhoogte is echter niet voldoende om de waargenomen veranderingen te verklaren (Baeye et al. 2011; Fettweis et al. 2014b). Ook het effect van windkracht op de residuele alongshore stroming en dus op de advection van het SPM is vrij gelijkaardig in zomer en winter (Fettweis et al. 2012b). Met andere woorden de frequentie van stormen met hoge golven of de perioden met windrichtingen die de residuele alongshore stroming veranderen, zijn te gering om significant de gemiddelde waarden, zoals hierboven getoond, te veranderen. De data suggereren daarom dat de seizoenaliteit vooral veroorzaakt wordt door de veranderingen in valsnelheid eerder dan in turbulente menging.

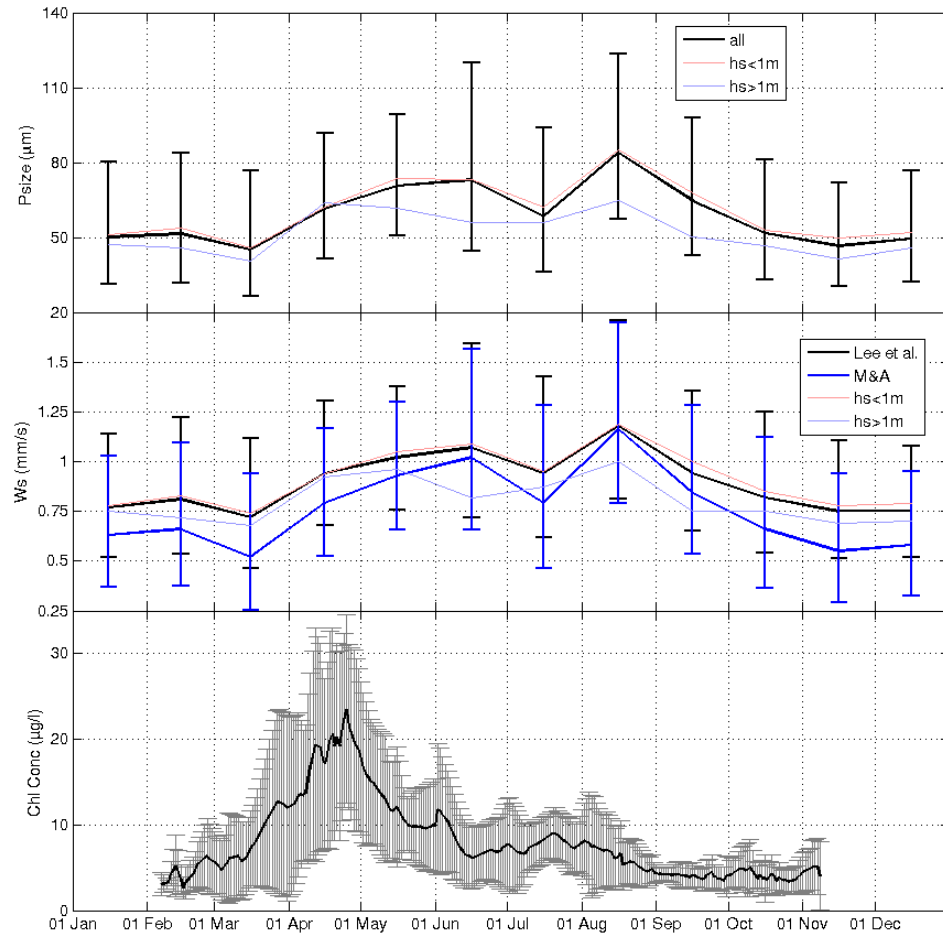
Tijdens een getijcyclus verandert de turbulentie steeds, zodat de flocculatieprocessen gekarakteriseerd worden door een voortdurende afwisseling van aggregatie en uiteenvallen van de vlokken (Verney et al. 2009; Lee et al. 2012; Keyvani and Storm 2014). Erosie van de zeebodem zou ook tot een influx van grotere partikels kunnen leiden, zoals b.v. het suspenderen van zandkorrels (Yuan et al. 2009). Een geschikt moment om zand in suspensie te brengen is tijdens maximale stroming. We zien echter dat er meestal geen grotere partikels voorkomen in de PGV (zie Figuren 5.9 en 5.10 en appendix 1), zodat uiteenvallen van vlokken overheerst op resuspensie van zandpartikels. De data tonen echter wel dat zandkorrels in suspensie gebracht worden tijdens stormen. Zo kunnen we opmerken dat bij hogere golven (Tabellen 5.1 en 5.2) de fractie aan macrovlokken groter is dan bij lage golven. In de winter bedraagt deze 10.5% bij lage golven en 13.6% bij hoge golven. In de zomer is het verschil 18.8% t.o.v. 13.6%. Deze hoge frequentie bestaan niet uit macrovlokken, maar uit geresuspendeerde zandkorrels, die door de curve-fitting als macrovlokken worden gedetecteerd. Tijdens sommige stormen zien we inderdaad dat het aandeel aan macrovlokken toeneemt en dat het verloop van de partikelgrootte in functie van de tijd veranderd, zie b.v. 2010 (dag 27-31), 2011 (dag 35-37, 310-312, 338-344), 2012 (dag 65-67) en 2013 (dag 68-73) in appendix 1.

Voorgaand onderzoek heeft aangetoond dat aggregaten in de zomer beter gewapend zijn tegen uiteenbreken. De tussenkomst van biologisch beïnvloede flocculatie-mechanismen naast turbulentie werd als verklaring hiervoor naar voren geschoven (Maggi, 2009; Lee et al., 2012; Fettweis et al., 2014b). Biologisch beïnvloede flocculatie wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van microbiele producten zoals Transparente Extracellulaire Polymeren (TEPs) die uitgestoten worden door algen en bacteriën (Logan et al. 1995; Engel 2000; Passow 2002). De klevende eigenschappen van deze stoffen verhoogt de vorming en de sterkte van de macrovlokken (Chen et al. 2005; Droppo et al. 2005). Gemiddeld gezien is de frequentie van micro- en macrovlokken hoger in de zomer dan de winter (Tabellen 5.1-5.2). Grotere vlokken hebben een hogere valsnelheid. Het verschil in valsnelheid tussen de zomer en de winter is opvallend; de valsnelheden in de zomer zijn ongeveer 25% hoger dan in de winter. De hogere bezinkingsflux duidt op een hogere waarschijnlijkheid in voorkomen van HCMS en/of van dikkere HCMS in de zomer. Vlokgrootte en valsnelheid werden geëvalueerd in functie van het golfklimaat. De resultaten in Tabellen 5.1 en 5.2 tonen dat de seizoenaliteit in vlokgrootte en valsnelheid

weinig beïnvloed wordt door stormachtig of rustig weer (zie boven aangehaalde uitzondering door resuspensie van zand) omdat de vlokken altijd groter zijn in de zomer en dit bij verschillende meteocondities.

De aanwezigheid van TEPs heeft ook een stabiliserend effect op de slibafzettingen en verhoogt hun erosieweerstand (Droppo et al. 2001; Black et al. 2002; Gerbersdorf et al. 2008). Dit betekent dat in de winter de erosieweerstand van de sliblaag vermindert omdat het stabiliserend effect van de TEPs wegvalt. Onze resultaten bevestigen dit mechanisme, en geven daarenboven een meer subtiële verklaring omdat de waarnemingen sterk afhankelijk zijn van het getijsignaal. De lagere SPM concentraties tijdens eb en vloed dicht tegen de bodem in de winter (Figuur 5.3 en 5.6) zijn dan zowel het gevolg van de kleinere valsnelheden, die voor een betere verticale menging zorgen, van een minder stabiele sliblaag op de bodem en van het feit dat er minder slib aanwezig is op de bodem voor resuspensie. De hogere SPM concentraties tijdens kentering dicht tegen de bodem in de winter worden dan veroorzaakt door de lagere valsnelheden en de hogere SPM concentraties in de waterkolom. Deze resulteren in een tragere afname van de SPM concentratie dicht tegen de bodem.

De langdurige meetreeks biedt de mogelijkheid om meer gedetailleerd naar variaties binnen een jaar te kijken. In Figuur 5.11 worden de maandelijks gemiddelde vloggrootte en valsnelheid getoond samen met de chlorophyll concentratie. De chlorophyll concentratie werd gemeten met de MERIS satelliet (zie Fettweis et al., 2014b). De figuur toont duidelijk aan dat er een significant verschil is in vloggrootte en valsnelheid voor de winter- (Januari-Maart en Oktober-December) en de zomermaanden (April-September), wat onze indeling in seizoenen (zie boven) dus rechtvaardigd. De vloggrootte/valsnelheid blijft laag in de winter en vertoont, in tegenstelling met de zomermaanden, weinig variaties. De valsnelheid/vloggrootte neemt vanaf April tot en met Juni toe, kent dan een terugval in Juli, bereikt een maximum in Augustus om dan in September terug af te nemen. Deze dubbele piek is mogelijk gelinkt aan de algenbloei in April en Juli (zie Chl concentratie). De toename in vloggrootte treed ogenschijnlijk na de algenbloei op. Met de hier gegeven resolutie van 1 maand is het echter niet mogelijk om de time shift exact te kwantificeren.



Figuur 5.11: Maandelijks gemiddelde vloggrootte over de periode 2006-2013 (alle data en voor golven groter en kleiner dan 1 m), valsnelheid (alle data volgens methode Lee et al. (2012) en Markussen & Andersen (2013), voor de Lee et al. (2012) resultaten worden ook de data voor golven groter en kleiner dan 1 m getoond) en de Chlorophyl concentratie (2003-2011) afgeleid uit de MERIS data (zie Fettweis et al. 2014b).

6. Conclusies

De langdurige dataserie van SPM concentratie, vloggrootte en valsnelheid werden opgedeeld in getijcycli en geklasseerd volgens bepaalde criteria, waaronder getijamplitude, residuele alongshore stroming en seizoenen. De alzo bekomen representatieve getijcycli vertonen een duidelijk seizoenaal signaal. Tijdens de zomer is de SPM concentratie hoger dicht tegen de bodem en lager in de waterkolom; tijdens de winter treedt het omgekeerde op. Ook vloggrootte en valsnelheid hebben een seizoenaal signaal. Kleinere vlokken en lagere valsnelheden komen voor in de winter en grotere vlokken en hogere valsnelheden in de zomer. Fysische effecten, zoals golfhoogte, windsterkte en –richting en stormen hebben enkel een kleine correlatie met deze seizoenaliteit. De seizoenaliteit in vloggrootte suggereert dat deze vooral veroorzaakt wordt door biologische effecten, die voor grotere vlokken zorgen in de zomer.

De resultaten bevoordelen de hypothese dat het SPM, of tenminste een significant deel ervan, in de Belgische kustzone blijft zowel in de zomer als in de winter. In de zomer is het SPM meer geconcentreerd dicht tegen de bodem, terwijl in de winter het SPM beter gemengd is in de waterkolom. De lagere SPM concentraties in de waterkolom tijdens de zomer worden aldus gecompenseerd door hogere concentraties dicht tegen de bodem. Deze omgekeerde seizoenaliteit werd, voor zover wij dit kunnen beoordelen, nog niet beschreven in de wetenschappelijke literatuur. Verder onderzoek naar de effecten hiervan op de aanslibbing van de havens en vaargeulen en op het ecosysteem dringen zich op.

7. Referenties

- Agrawal YC, Pottsmith HC. 2000. Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport. *Marine Geology*, 168, 89–114.
- Andrews S, Nover D, Schladow S. 2010. Using laser diffraction data to obtain accurate particle size distributions: The role of particle composition. *Limnology and Oceanography Methods* 8, 507–526.
- Baeye M, Fettweis M, Voulgaris G, Van Lancker V. 2011. Sediment mobility in response to tidal and wind-driven flows along the Belgian inner shelf, southern North Sea. *Ocean Dynamics* 61, 611–622.
- Banerjee S, Menkiel B, Ganippa L. 2009. Multi-lognormal soot particle size distribution for time-resolved laser induced incandescence in diesel engines, *Applied Physics B*, 96, 571–579.
- Belgische Staat. 2012a. Initiële beoordeling van het Belgisch marien ecosysteem voor de Kaderrichtlijn Mariene Strategie. – Art 8 lid 1a & 1b. BMM, Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Brussel, België, 81pp.
- Belgische Staat. 2012b. Omschrijving van Goede Milieutoestand en vaststelling van Milieudoelen voor de Belgische mariene wateren. Kaderrichtlijn Mariene Strategie – Art 9 & 10. BMM, Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Brussel, België, 34pp.
- Black KS, Tolhurst TJ, Paterson DM, Hagerthey SE. 2002. Working with natural cohesive sediments, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 2–8.
- Chen M, Wartel S, Temmerman S. 2005. Seasonal variation of flocc characteristics on tidal flats, the Scheldt estuary. *Hydrobiologia* 540, 181–195.
- Cross J, Nimmo-Smith WAM, Torres R, Hosegood PJ. 2013. Biological controls on resuspension and the relationship between particle size and the Kolmogorov length scale in a shallow coastal sea. *Marine Geology*, 343, 29–38.
- Droppo IG, Lau YL, Mitchell C. 2001. The effect of depositional history on contaminated bed sediment stability. *Science of the Total Environment*, 266, 7–13.
- Droppo I, Leppard G, Liss S, Milligan T. 2005. Flocculation in Natural and Engineered Environmental Systems, CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Eisma, D. 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries, *Netherlands Journal of Sea Research* 20, 183–199..
- Engel A. 2000. The role of transparent exopolymer particles (TEP) in the increase in apparent particle stickiness during the decline of a diatom bloom. *Journal of Plankton Research*, 22, 485–497.
- Fettweis M, Van den Eynde D. 2003. The mud deposits and the high turbidity maximum in the Belgian-Dutch coastal zone, southern Bight of the North Sea. *Continental Shelf Research* 23, 669–691.
- Fettweis M, Francken F, Pison V, Van den Eynde D. 2006. Suspended particulate matter dynamics and aggregate sizes in a high turbidity area. *Marine Geology* 235, 63–74.
- Fettweis M. 2008. Uncertainty of excess density and settling velocity of mud flocs derived from in situ measurements. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 78, 428–436.
- Fettweis M, Nechad B. 2011. Evaluation of in situ and remote sensing sampling methods for SPM concentrations on the Belgian continental shelf (southern North Sea). *Ocean Dynamics* 61, 157–171.
- Fettweis M, Baeye M, Lee BJ, Chen P, Yu JCR. 2012a. Hydro-meteorological influences and multimodal suspended particle size distributions in the Belgian nearshore area (southern North Sea). *Geo-Marine Letters* 32, 123–137.
- Fettweis M, Monbaliu J, Nechad B, Baeye M, Van den Eynde D. 2012b. Weather and cli-

- mate related spatial variability of high turbidity areas in the North Sea and the English Channel. *Methods in Oceanography*, 3-4, 25-29.
- Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D, Van der Zande D, Van Lancker V. 2013. MOMO activiteitsrapport (1 januari 2013 - 30 juni 2013). BMM-rapport MOMO/6/MF/201308/NL/AR/3, 30pp + app.
- Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D, Van Lancker V. 2014a. MOMO activiteitsrapport (1 juli 2013 - 31 december 2013). BMM-rapport MOMO/6/MF/201401/NL/AR/4, 47pp + app.
- Fettweis M, Baeye M, Van der Zande D, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014b. Seasonality of floc strength in the southern North Sea. *Journal of Geophysical Research* 119, 1911–1926,
- Flagg CN, Vermersch JA, Beardsley RC. 1976. 1974 MIT New England shelf dynamic experiment (March 1974) data report, part II: The moored array. Report 76-1, Massachusetts Institute of Technology.
- Gerbersdorf SU, Jancke T, Westrich P, Paterson DM. 2008. Microbial stabilization of riverine sediments by extracellular polymeric substances. *Geobiology*, 6, 57–69.
- Hatch T, Choate S.P. 1929. Statistical description of the size properties of non uniform particulate substances. *Journal of the Franklin Institute*, 207, 369-387.
- Hussein T, Dal Maso M, Petaja T, Koponen I, Paatero P, Aalto P, Hameri K, Kulmala M. 2005. Evaluation of an automatic algorithm for fitting the particle number size distributions. *Boreal Environmental Research* 10, 337–355.
- Keyvani A, Strom K. 2014. Influence of cycles of high and low turbulent shear on the growth rate and equilibrium size of mud flocs, *Marine Geology*, 345, 1-14.
- Khelifa A. Hill PS. 2006. Models for effective density and settling velocity of flocs. *Journal of Hydraulic Research* 44, 390-401.
- Kranenburg, C., 1994. On the fractal structure of cohesive sediment aggregates. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 39, 451-460.
- Kumar RG, Strom KB, Keyvani A. 2010. Floc properties and settling velocity of San Jacinto estuary mud under variable shear and salinity conditions. [Continental Shelf Research](#) 30, 2067–2081.
- Lauwaert B, Fettweis M, Cooreman K, Hillewaert H, Moulaert I, Raemaekers M, Mergaert K, De Brauwier D. 2004. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciestorringen. BMM, DVZ & aMT rapport, BL/2004/01, 52pp.
- Lauwaert B, De Brauwier D, Fettweis M, Hillewaert H, Hostens K, Mergaert K, Moulaert I, Parmentier K, Verstraeten J. 2006. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciestorringen (vergunningperiode 2004-2006). BMM, ILVO & aMT rapport, BL/2006/01, 87pp.
- Lauwaert B, Bekaert K, Berteloot M, De Brauwier D, Fettweis M, Hillewaert H, Hoffman S, Hostens K, Mergaert K, Moulaert I, Parmentier K, Vanhoey G, Verstraeten J. 2008. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciestorringen (vergunningperiode 2006-2008). BMM, ILVO, aK & aMT rapport, BL/2008/01, 128pp.
- Lauwaert B, Bekaert K, Berteloot M, De Backer A, Derweduwen J, Dujardin A, Fettweis M, Hillewaert H, Hoffman S, Hostens K, Ides S, Janssens J, Martens C, Michielsens T, Parmentier K, Van Hoey G, Verwaest T. 2009a. Synthesis report on the effects of dredged material disposal on the marine environment (licensing period 2008-2009) Report by MUMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2009/01. 73pp.
- Lauwaert B, Bekaert K, Berteloot M, De Backer A, Derweduwen J, Dujardin A, Fettweis M, Hillewaert H, Hoffman S, Hostens K, Ides S, Janssens J, Martens C, Michielsens T, Parmentier K, Van Hoey G, Verwaest T. 2009b. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciestorringen (vergunningperiode 2008-2009).

- Rapport uitgevoerd door BMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2009/01. 18pp.
- Lauwaert B, Delgado R, Derweduwen J, Devriese L, Fettweis M, Hostens K, Janssens J, Robbens J, Timmermans S, Van Hoey G, Verwaest T. 2011a. Synthesis report on the effects of dredged material disposal on the marine environment (licensing period 2010-2011). Report by MUMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2011/12, 85pp.
- Lauwaert B, Delgado R, Derweduwen J, Devriese L, Fettweis M, Hostens K, Janssens J, Robbens J, Timmermans S, Van Hoey G, Verwaest T. 2011b. Synthese rapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciéstoringen (vergunningsperiode 2010-2011). Rapport uitgevoerd BMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2011/12, 16pp.
- Lauwaert B, Fettweis M, De Witte B, Van Hoey G, Timmermans S, Martens C. 2014. Vooruitgangsrapport (januari 2012 – juni 2014) over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciéstoringen. Rapport door KBIN-BMM, ILVO, CD & aMT, BL/2014/01, 21pp.
- Lee BJ, Fettweis M, Toorman E, Molz F. 2012. Multimodality of a particle size distribution of cohesive suspended particulate matters in a coastal zone. *Journal of Geophysical Research* 117 (C03014).
- Lee BJ, Toorman E, Fettweis M. 2014. Flocculation of fine-grained cohesive sediments developing multimodal particle size distributions: Field investigation and mathematical modeling. *Ocean Dynamics*. 64, 429-441.
- Logan BE, Passow U, Alldredge AL, Grossart H-P, Simon M. 1995. Rapid formation and sedimentation of large aggregates is predictable from coagulation rates (half-lives) of Transparent Exopolymer Particles (TEP), *Deep Sea Research II*, 42, 203–214.
- Luyten P. 2013. A Coupled hydrodynamical-ecological model for regional and shelf seas User documentation version 2.5.1. see <http://www2.mumm.ac.be/coherens/>
- Maerz J, Verney R, Wirtz K, Feudel U. 2011. Modeling flocculation processes: Intercomparison of a size class-based model and a distribution-based model. *Continental Shelf Research* 31, 84-93.
- Maggi F. 2005. Flocculation dynamics of cohesive sediment, PhD dissertation, Delft University of Technology.
- Maggi F. 2007. Variable fractal dimension: A major control for floc structure and flocculation kinematics of suspended cohesive sediment. *Journal of Geophysical Research* 112, C07012.
- Maggi F. 2009. Biological flocculation of suspended particles in nutrient-rich aqueous ecosystems, *Journal of Hydrology* 376, 116–125.
- Manning AJ, Bass S. 2006. Variability in cohesive sediment settling fluxes: Observations under different estuarine tidal conditions. *Marine Geology* 235, 177-192.
- Markussen TN, Andersen TJ. 2013. A simple method for calculating in situ floc settling velocities based on effective density functions. *Marine Geology* 344, 10-18.
- Mellor GL, Yamada T. 1974. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers, *Journal of Atmospheric Sciences*, 31, 1791–1806.
- Mietta F. 2010. Evolution of the floc size distribution of cohesive sediments, PhD dissertation, Delft University of Technology.
- Mikkelsen O, Hill P, Milligan T. 2006. Single-grain, microfloc and macrofloc volume variations observed with a LISST-100 and a digital floc camera. *Journal of Sea Research* 55, 87-102.
- Nechad B, Alvera-Azcárate A, Ruddick K, Greenwood N. 2011. Reconstruction of MODIS total suspended matter time series maps by DINEOF and validation with autonomous platform data, *Ocean Dynamics*, 61, 1205–1214.
- Passow U. 2002. Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments, *Pro-*

- gress in Oceanography, 55, 287–333.
- Strom K, Keyvani A. 2011. An explicit full-range settling velocity equation for mud flocs. *Journal of Sedimentary Research* 81, 921–934.
- van Leussen W. 1994. Estuarine macroflocs: Their role in finegrained sediment transport, PhD dissertation, Utrecht Univ., Utrecht, Netherlands.
- van Leussen W. 1999. The variability of settling velocities of suspended fine-grained sediment in the Ems estuary. *Journal of Sea Research*, 41, 109–118.
- Verney R, Lafite R, Brun-Cottan J. 2009. Flocculation potential of estuarine particles: The importance of environmental factors and of the spatial and seasonal variability of suspended particulate matter. *Estuaries and Coasts*, 32, 678–693.
- Verney R, Lafite R, Brun-Cottan J-C, Le Hir P. 2011. Behaviour of a floc population during a tidal cycle: Laboratory experiments and numerical modelling. *Continental Shelf Research*, 31, 64–83.
- Whitby K. 1978. The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmospheric Environment* 41, 25–49.
- Winterwerp J. 1998. A simple model for turbulence induced flocculation of cohesive sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 36, 309–326.
- Yuan Y, Wei H, Zhao L, Cao Y. 2009. Implications of intermittent turbulent bursts for sediment resuspension in a coastal bottom boundary layer: A field study in the western Yellow Sea, China, *Marine Geology*, 263, 87–96.

COLOPHON

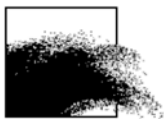
Dit rapport werd voorbereid door de BMM in januari 2015
Zijn referentiecode is .MOMO/7/MF/201501/NL/AR/2

De scheepstijd met de RV Belgica werd voorzien door BELSPO en KBIN-OD Natuur

Indien u vragen hebt of bijkomende copies van dit document wenst te verkrijgen, gelieve een e-mail te zenden naar m.fettweis@mumm.ac.be, met vermelding van de referentie, of te schrijven naar:

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
OD Natuur – BMM
t.a.v. Michael Fettweis
Gulledelle 100
B-1200 Brussel
België
Tel: +32 2 773 2132
<http://www.mumm.ac.be/>

BEHEERSEENHEID VAN HET
MATHEMATISCH MODEL VAN DE NOORDZEE



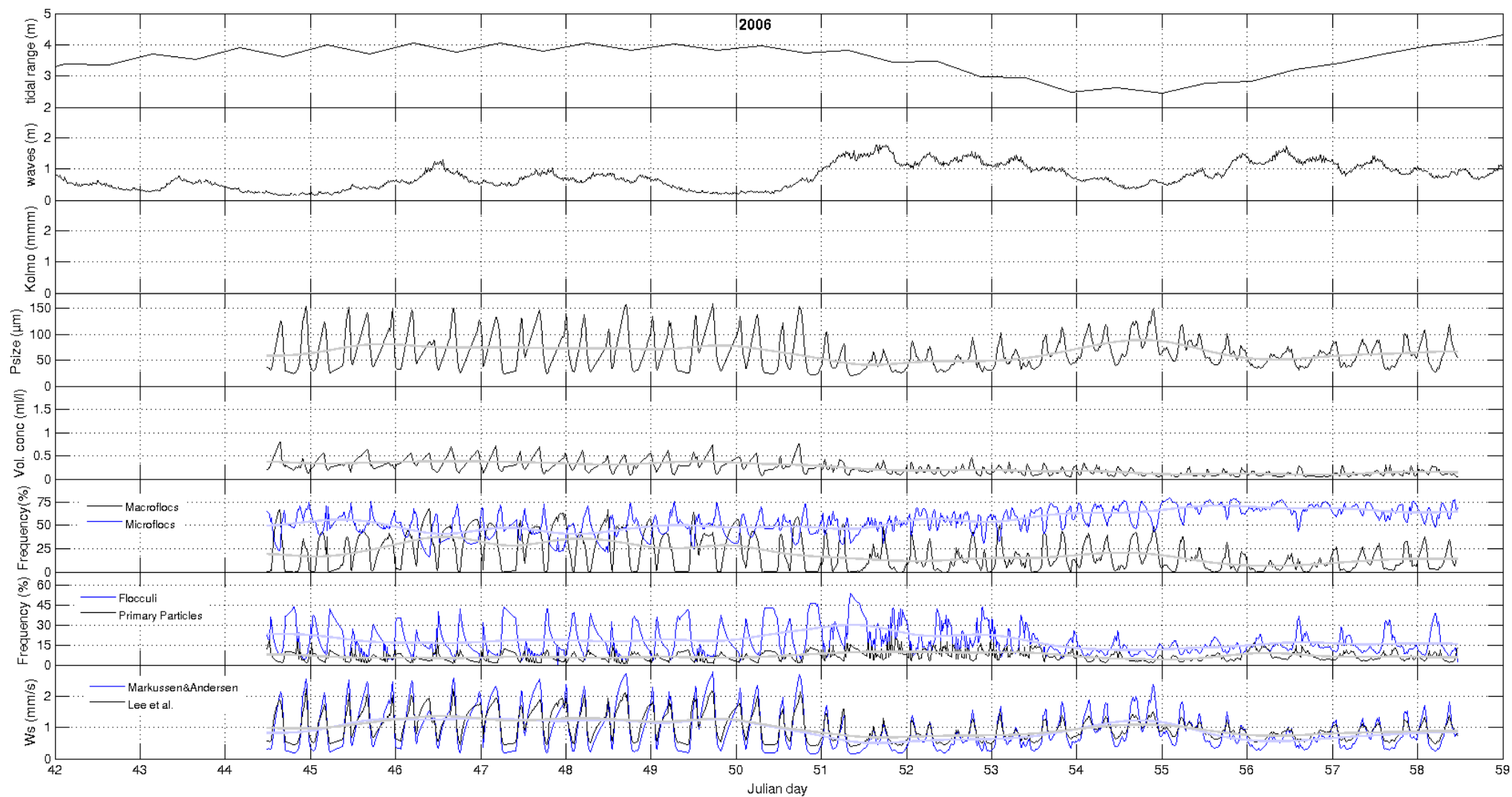
APPENDIX 1

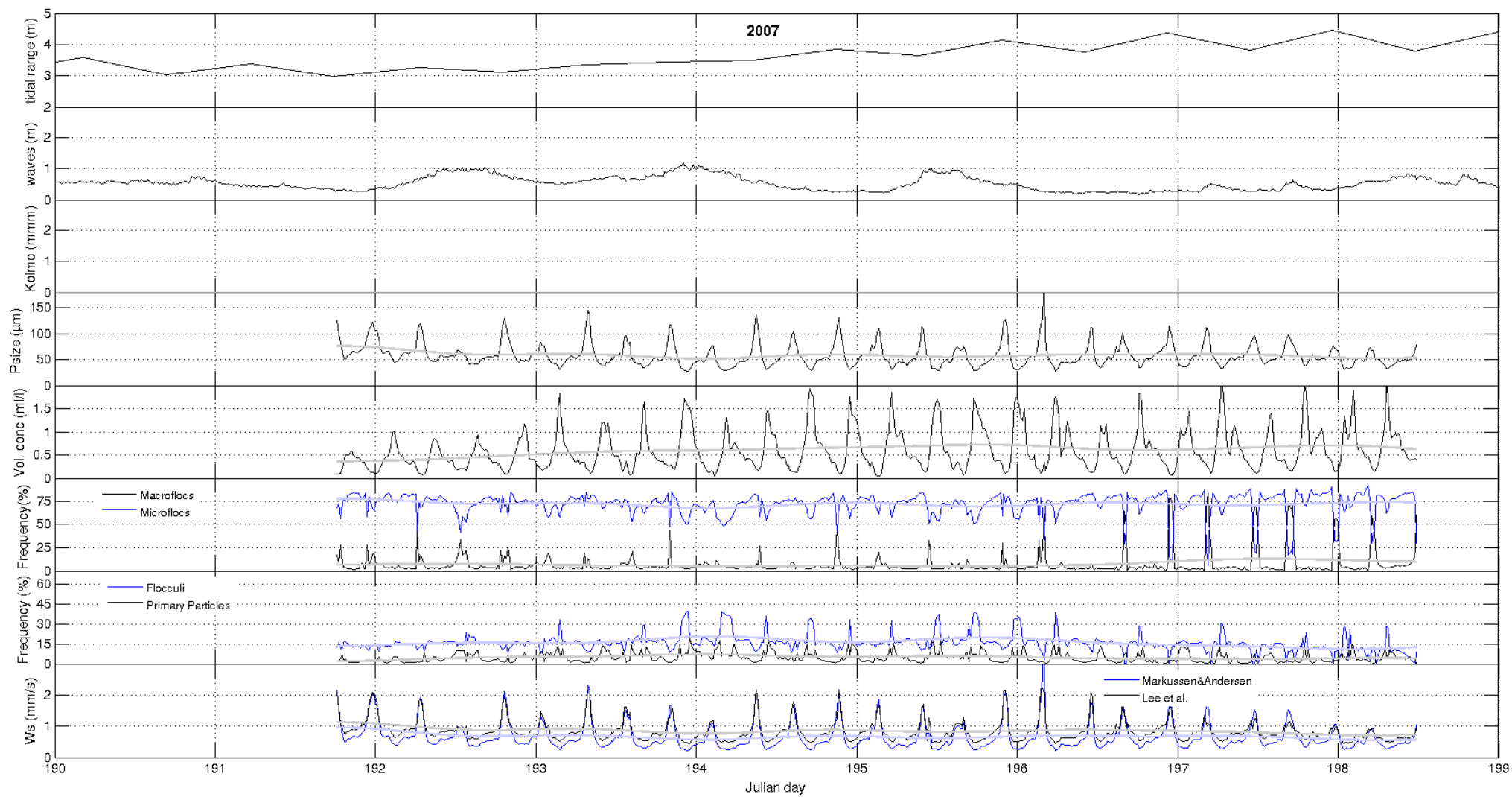
Detailfiguren

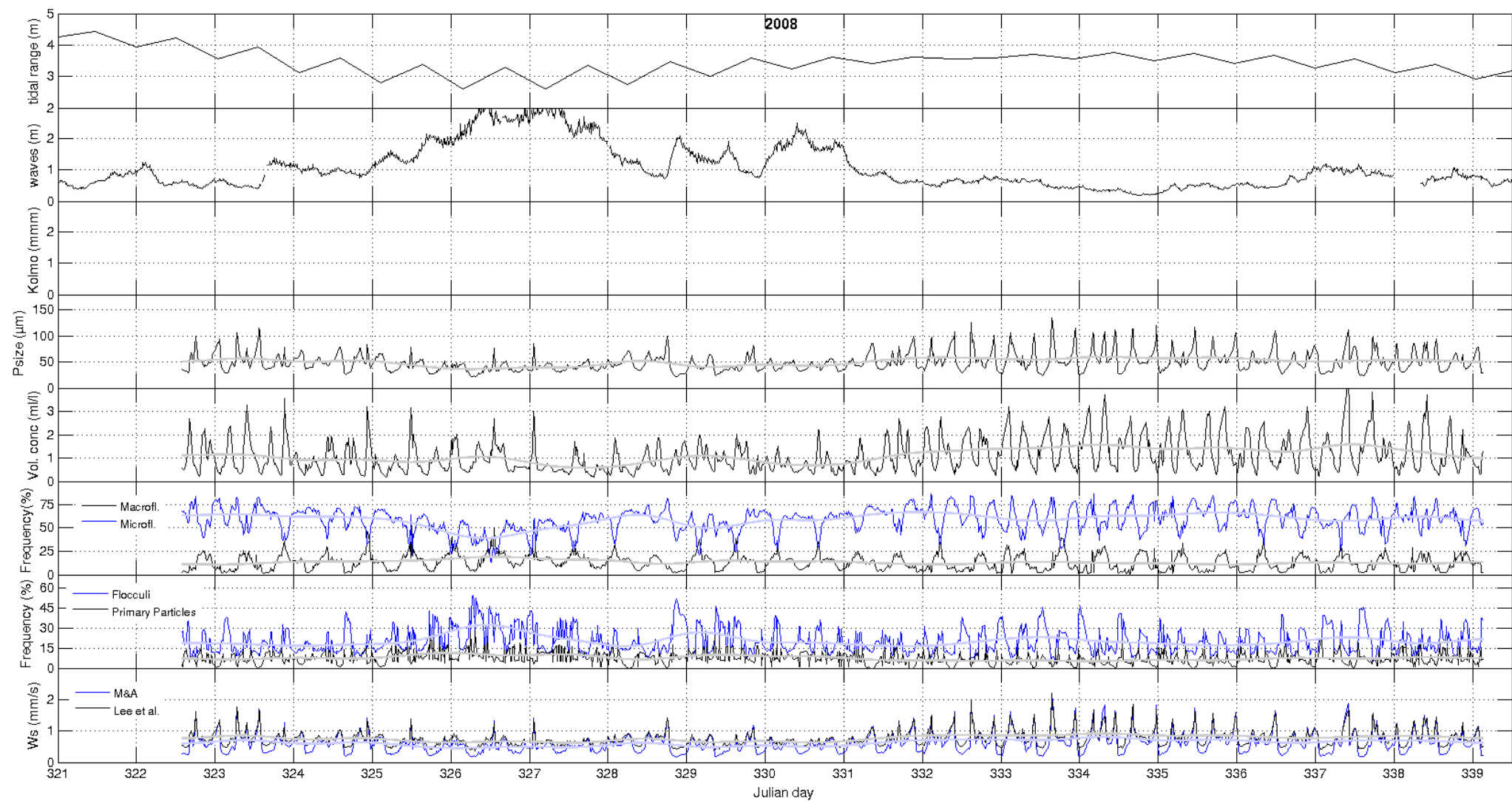
Vlokgrootten en valsnelheden van het SPM in 2006-2013

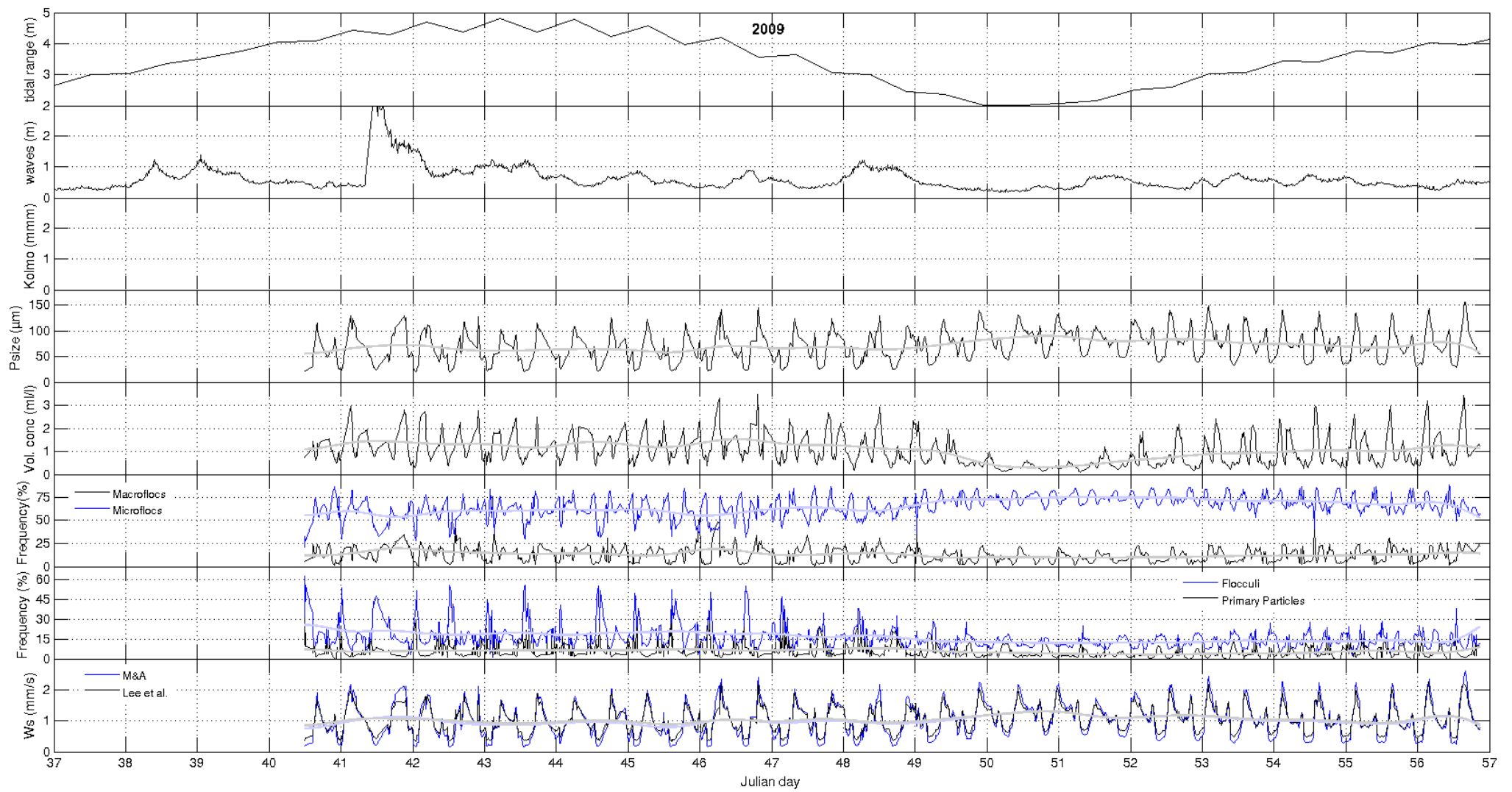
M&A: valsnelheid volgens Markussen & Andersen (2013), zie §3.2.2

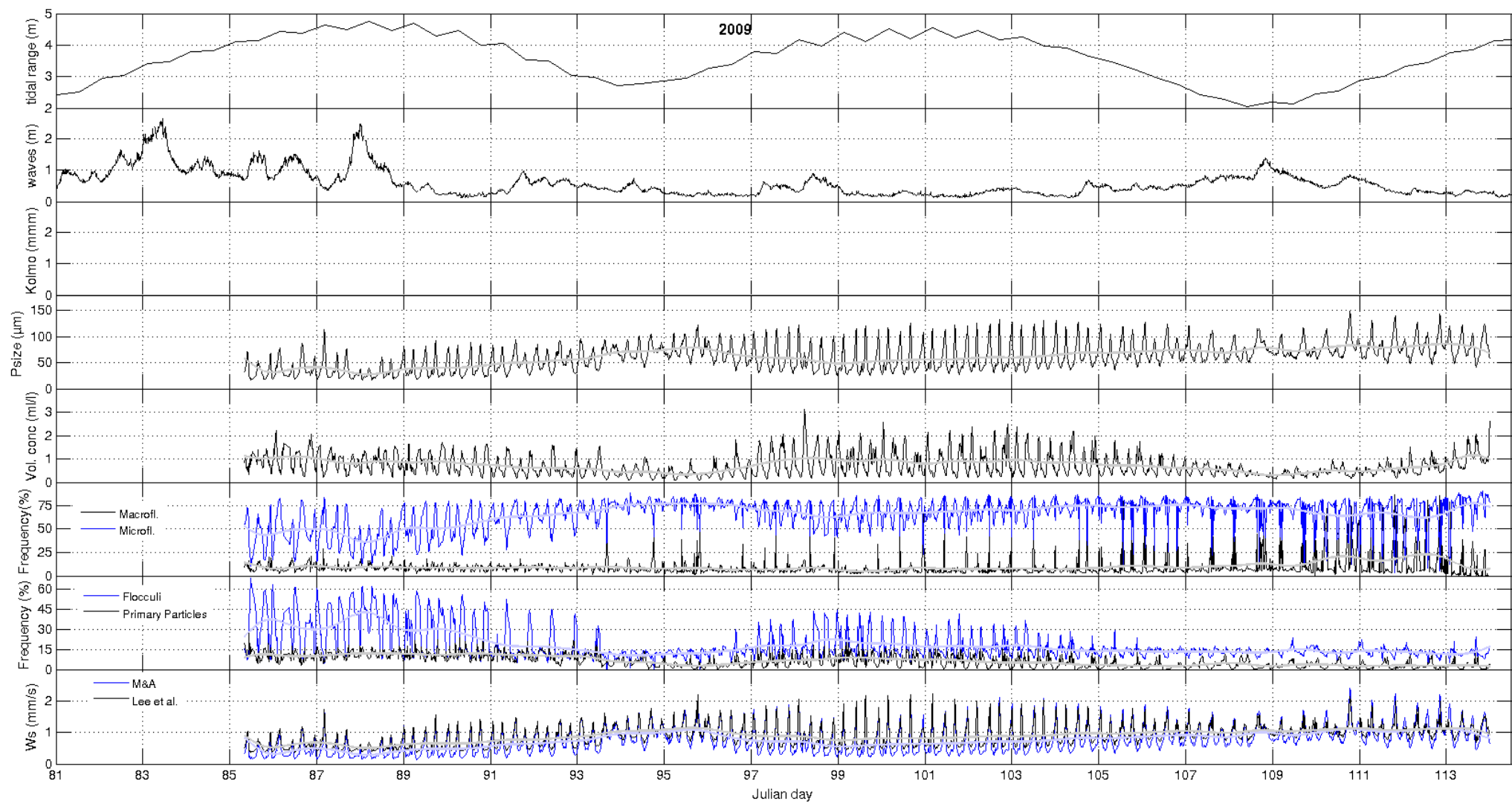
Lee et al.: valsnelheid volgens Lee et al. (2012), zie §3.2.2

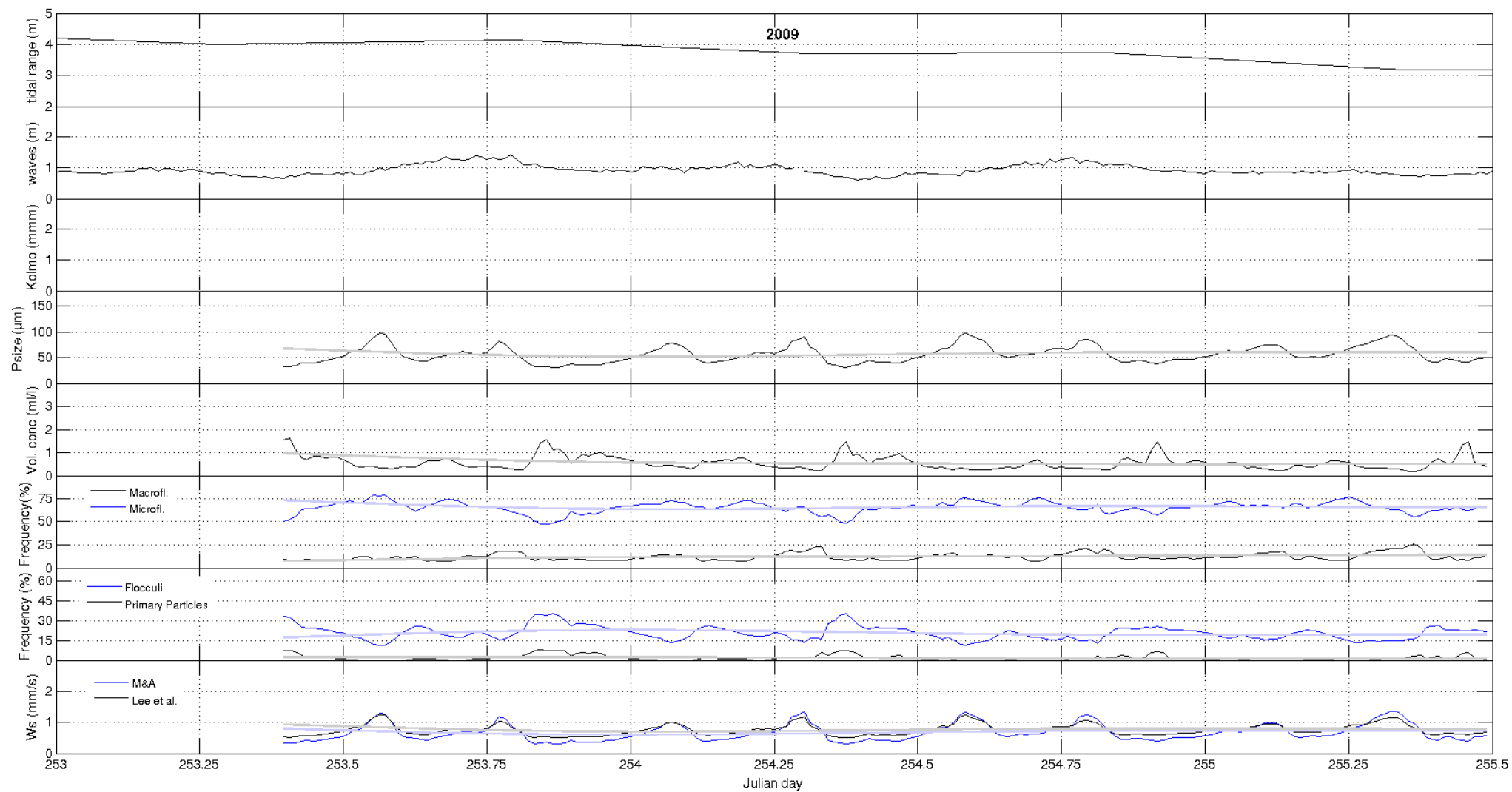


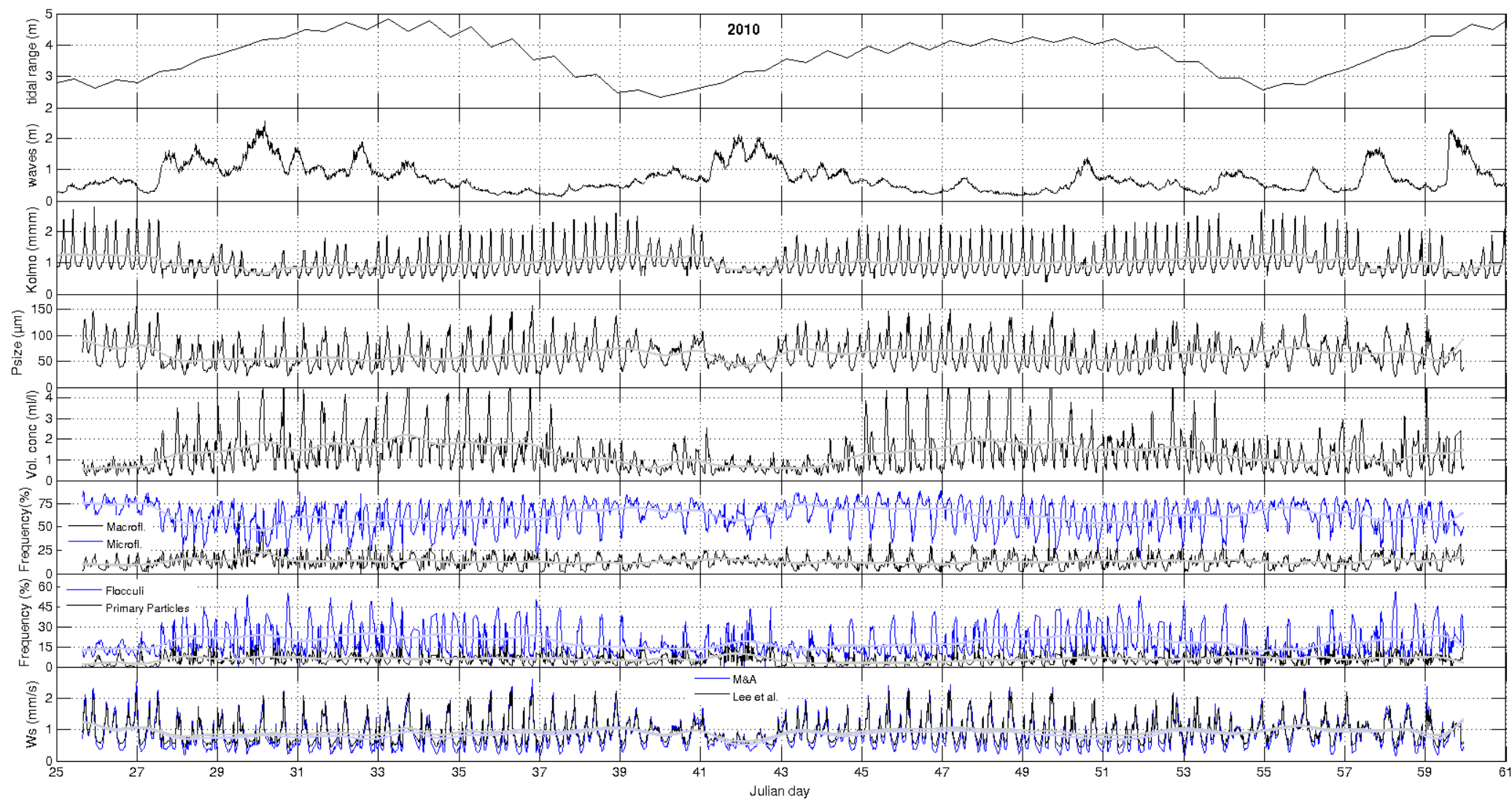


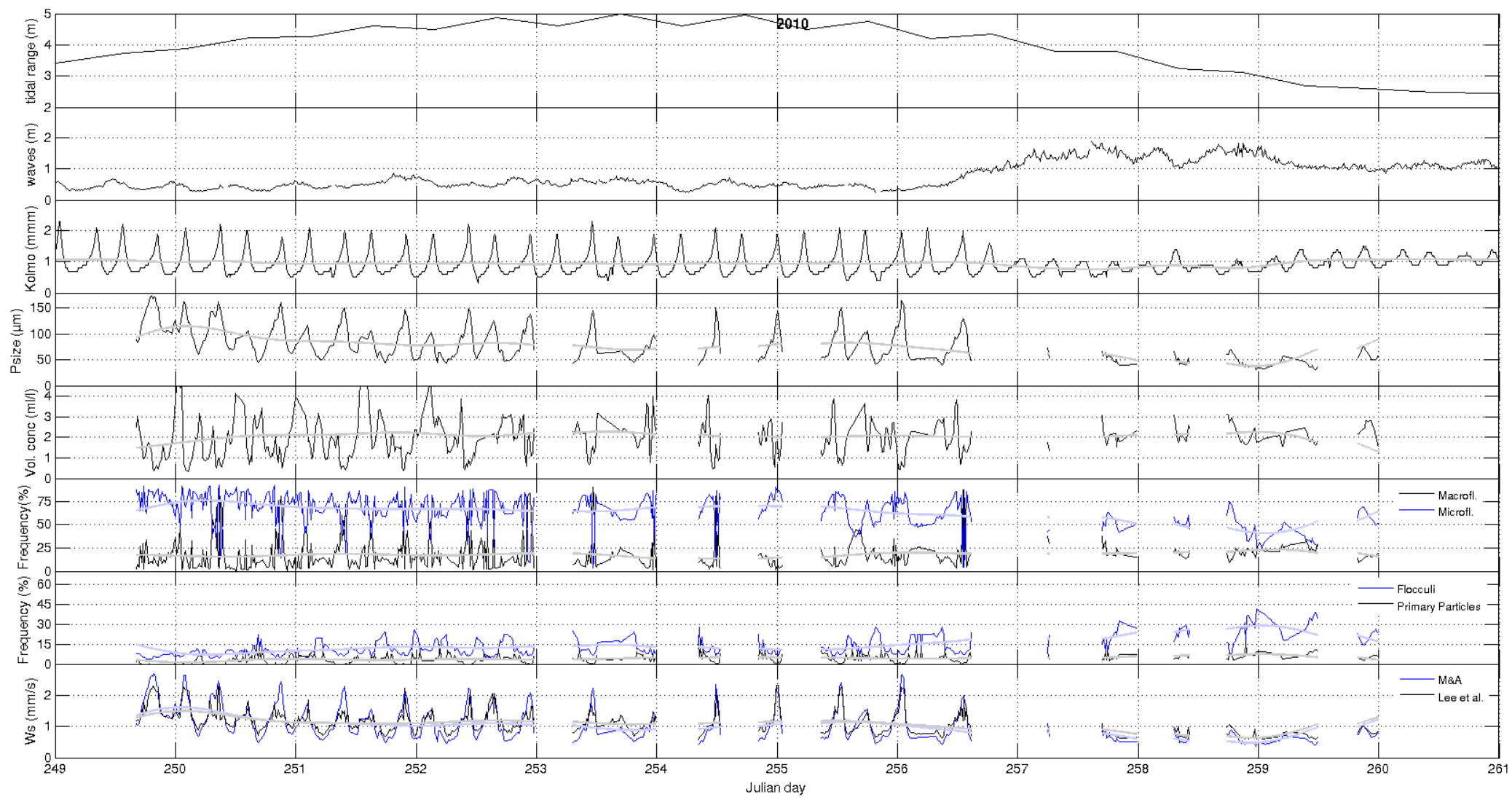


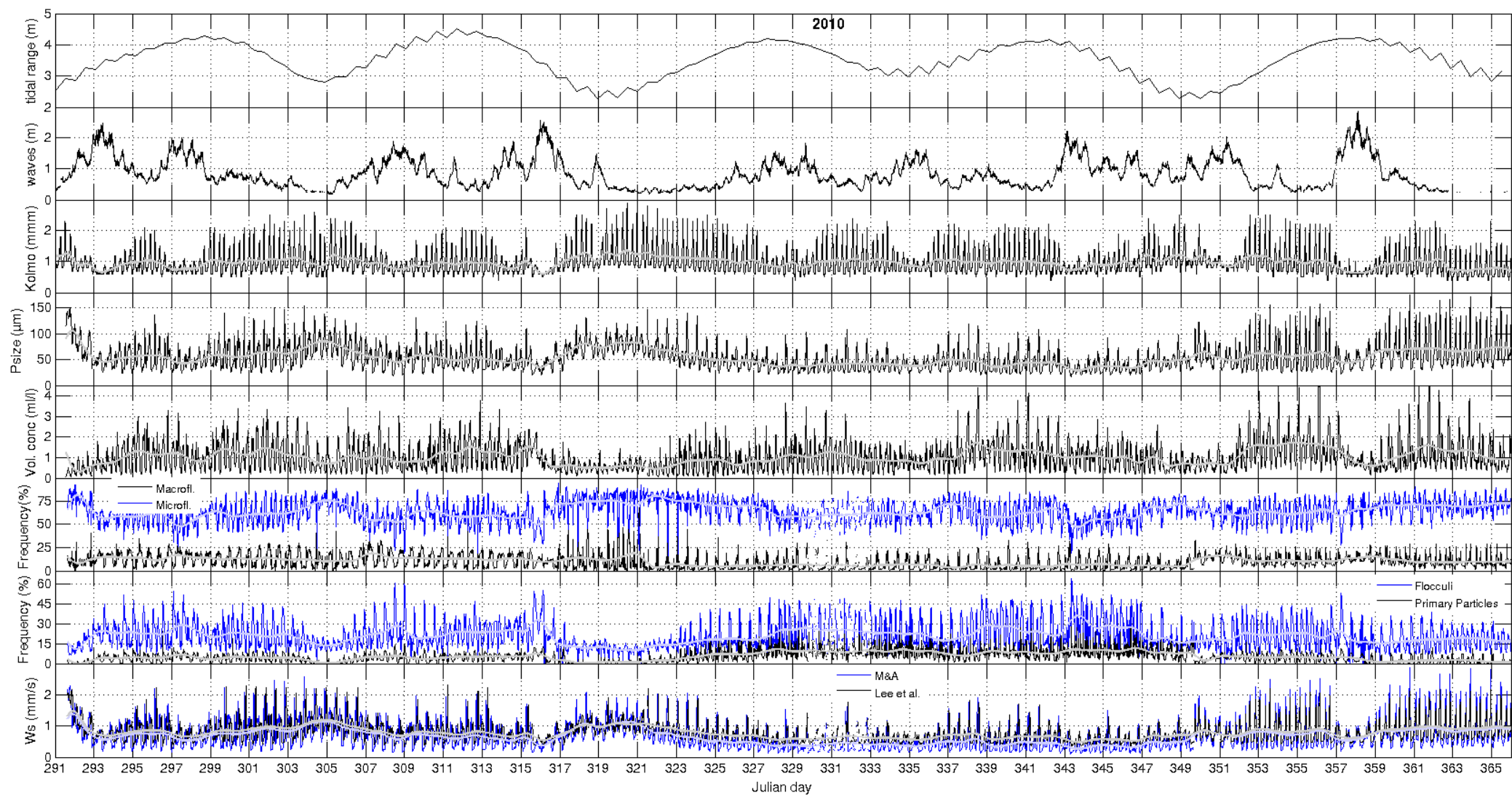


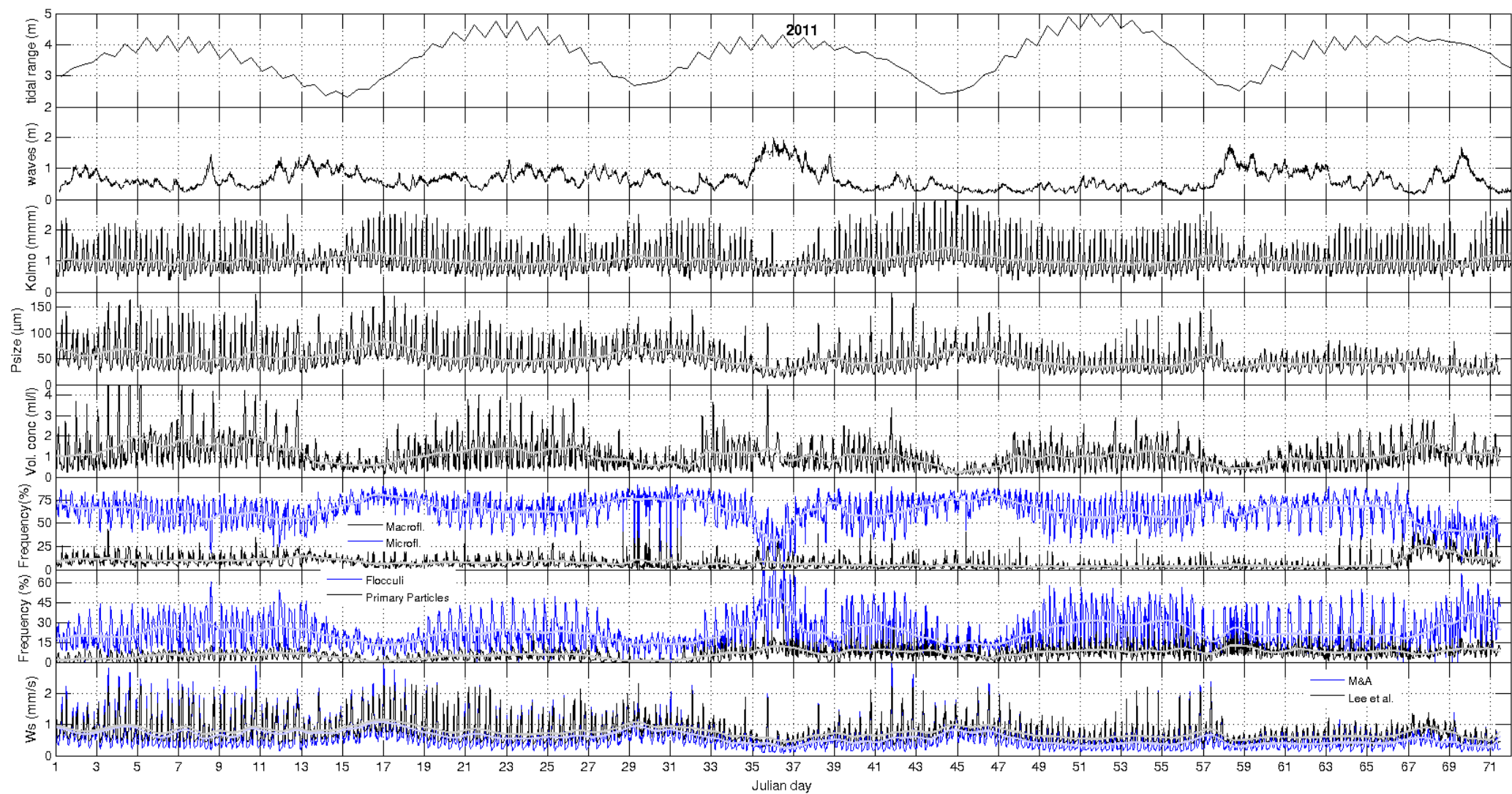


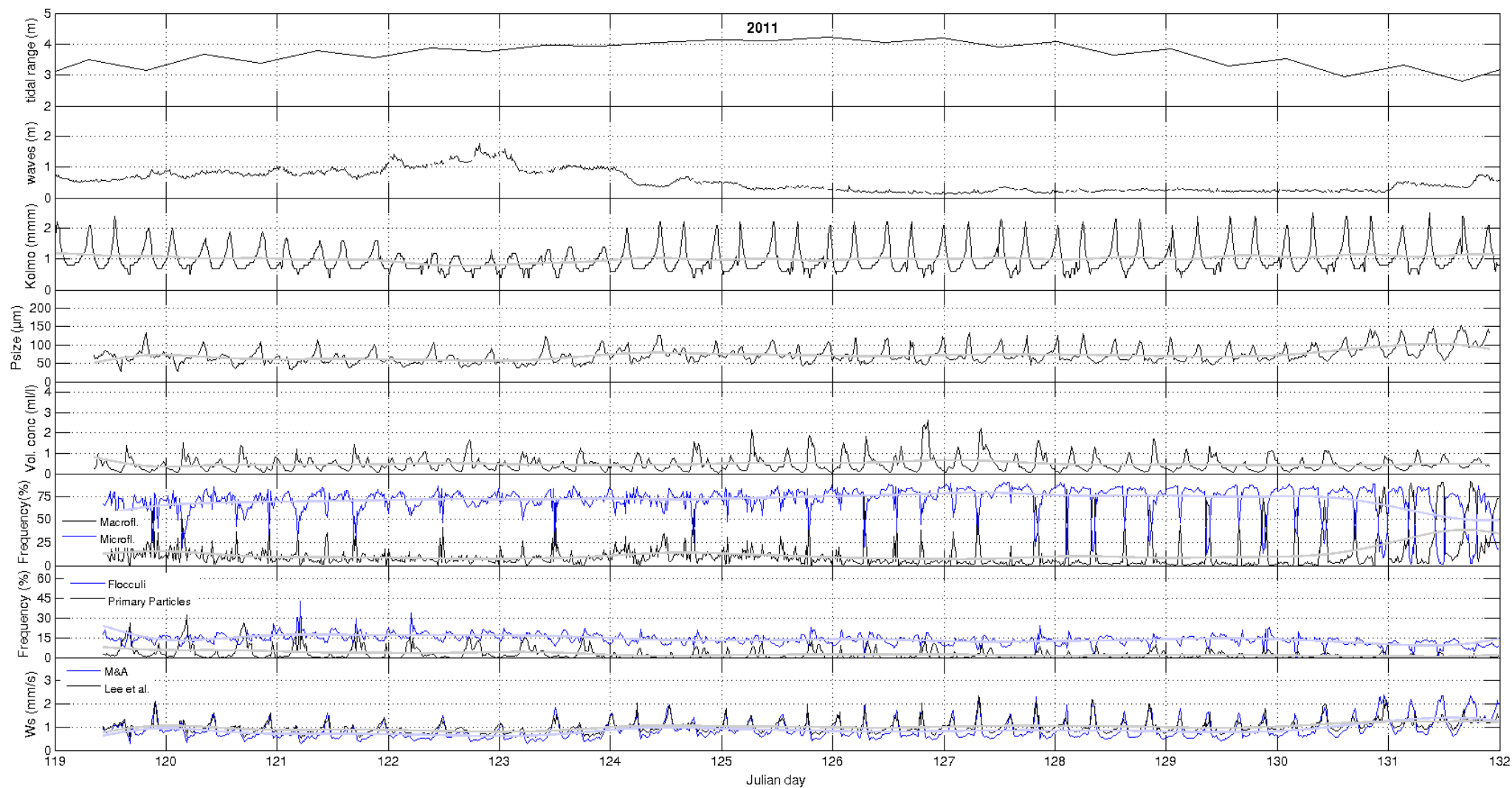


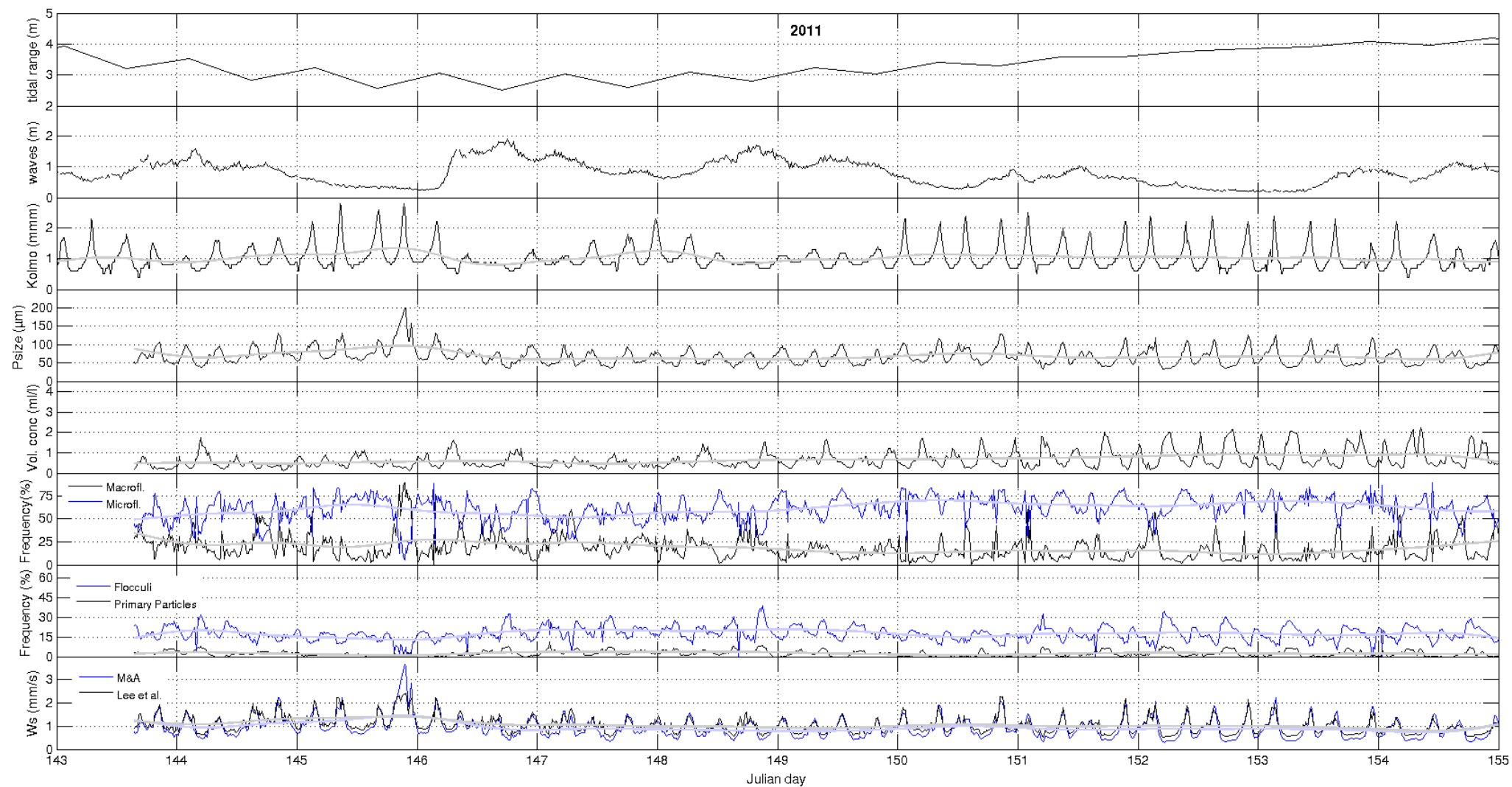


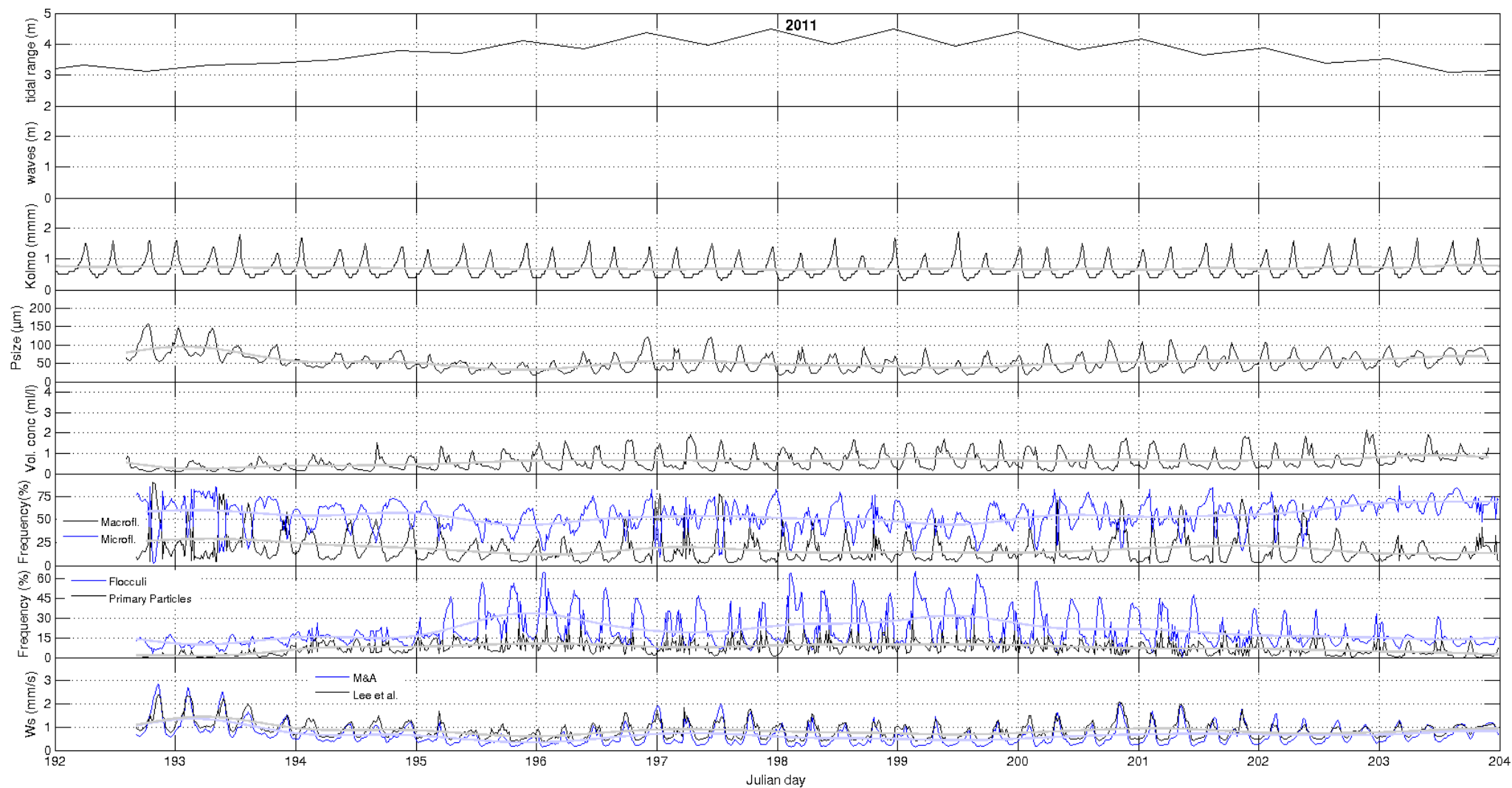


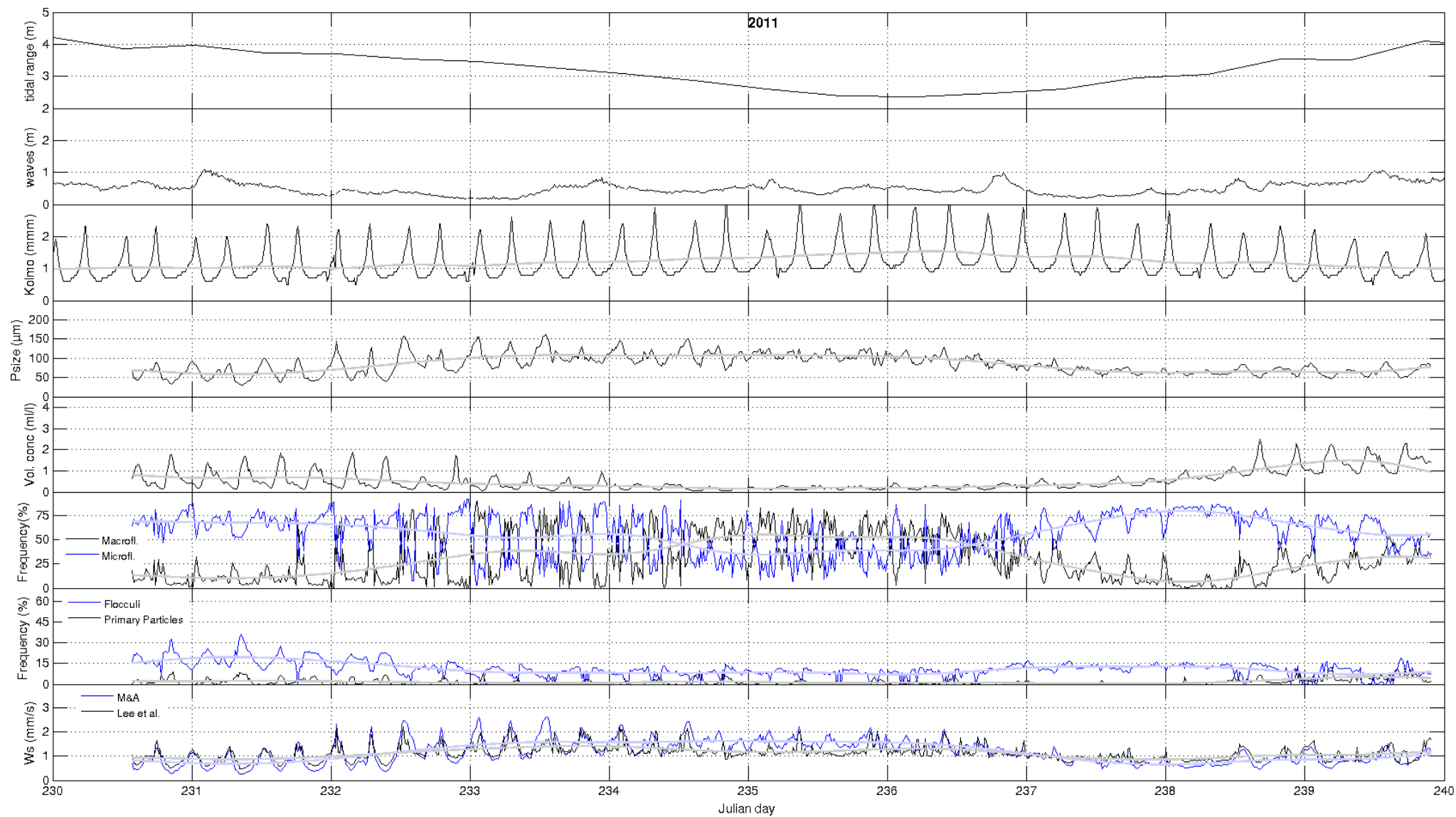


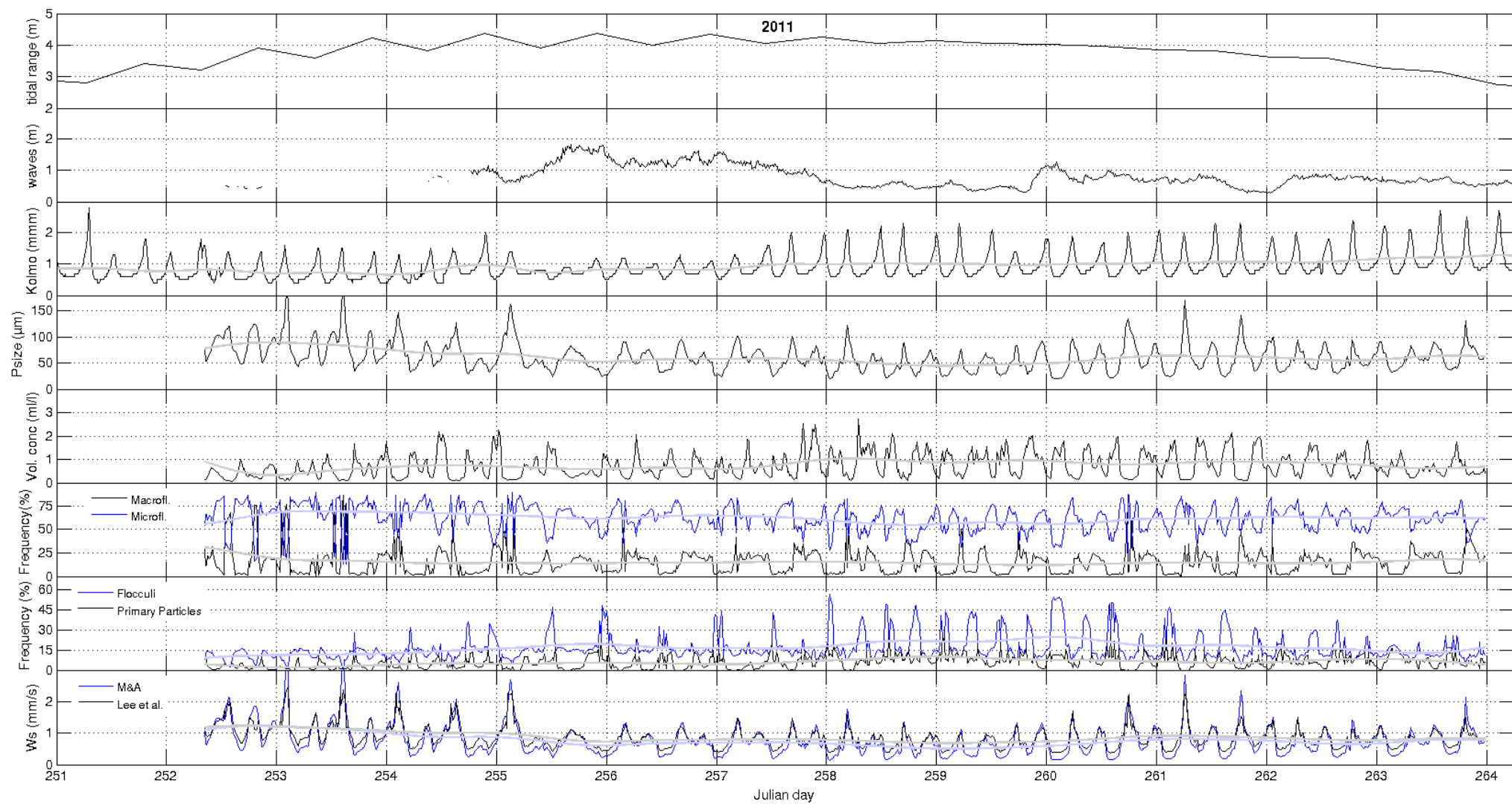


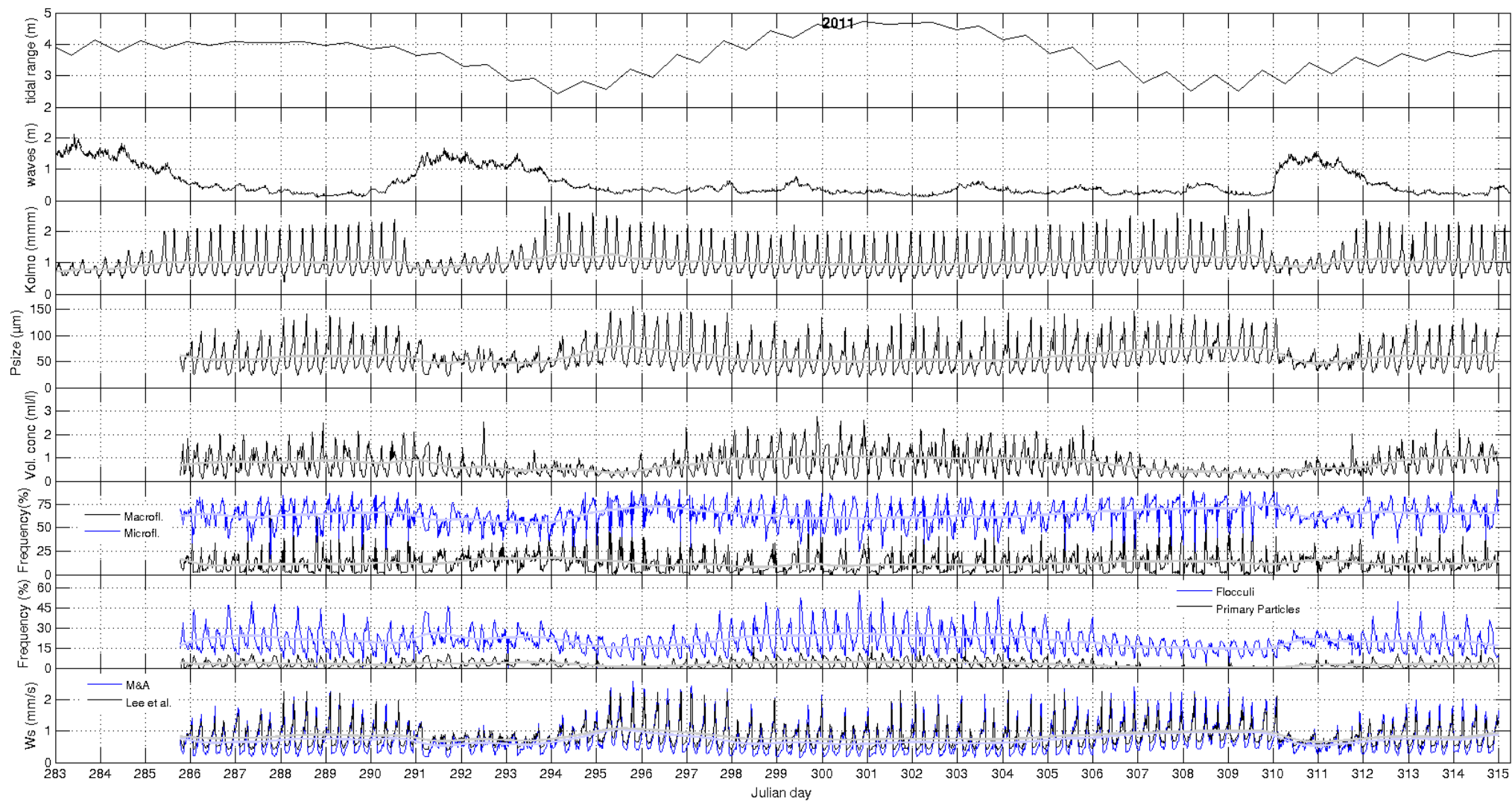


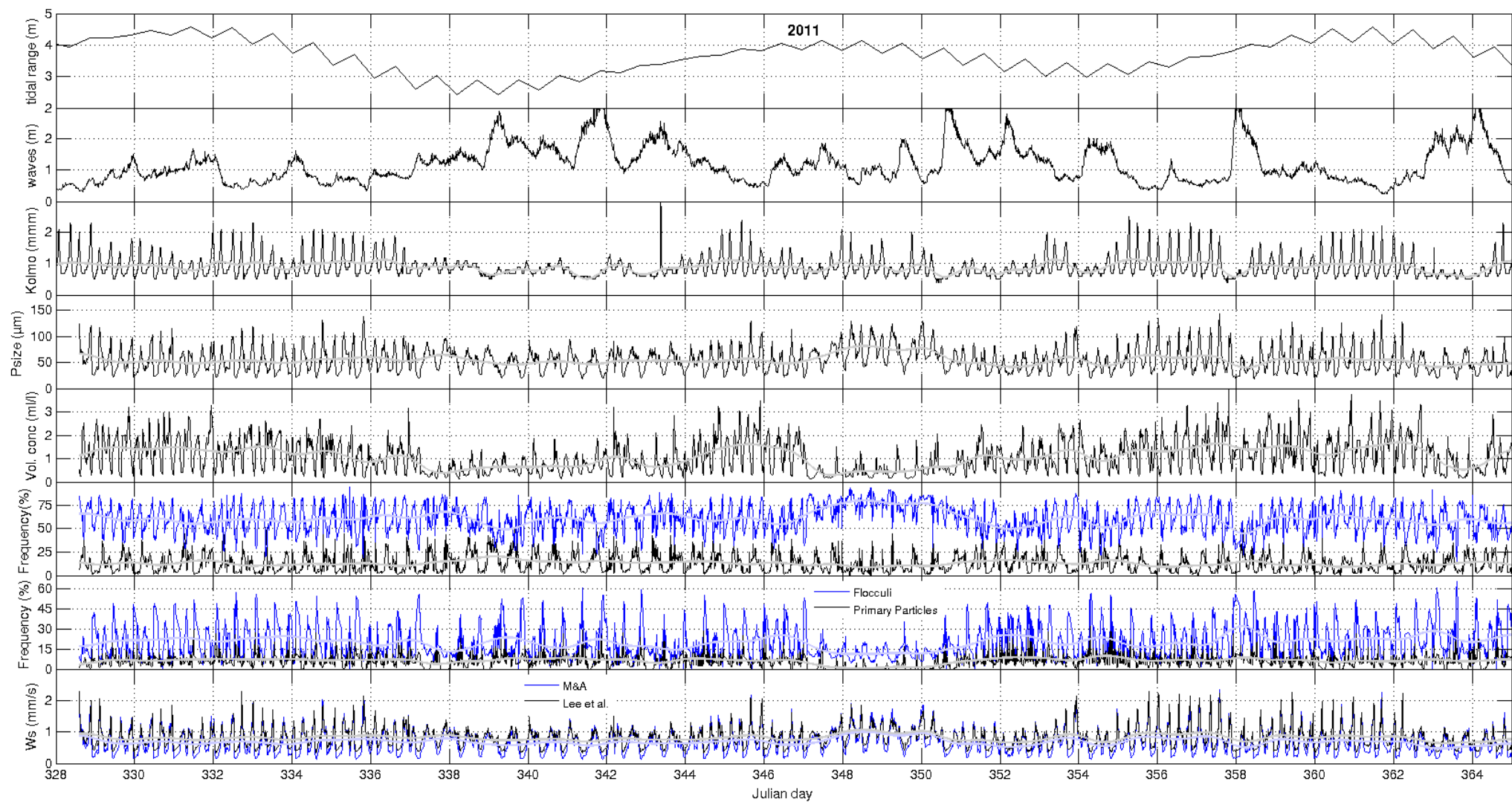


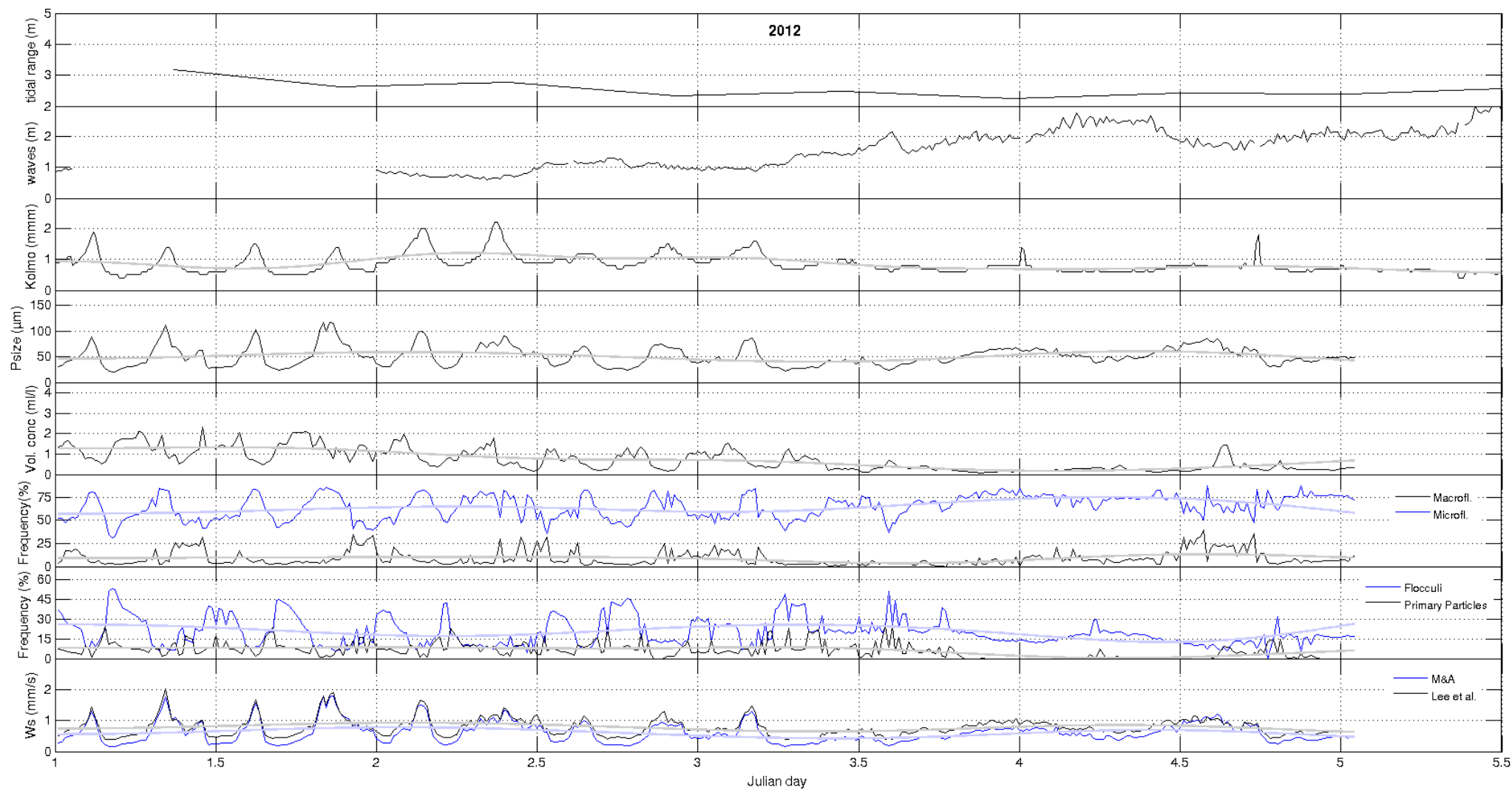


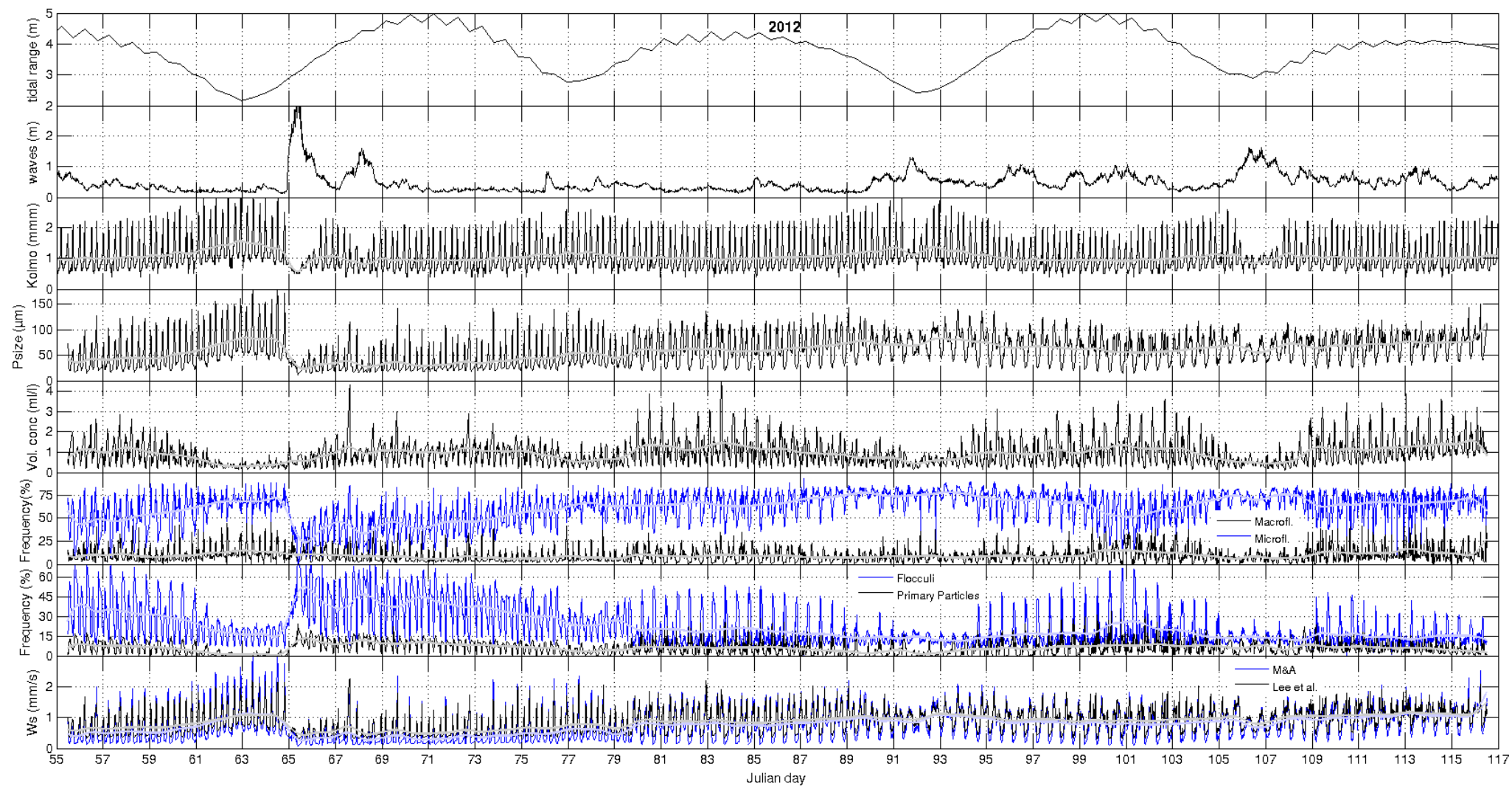


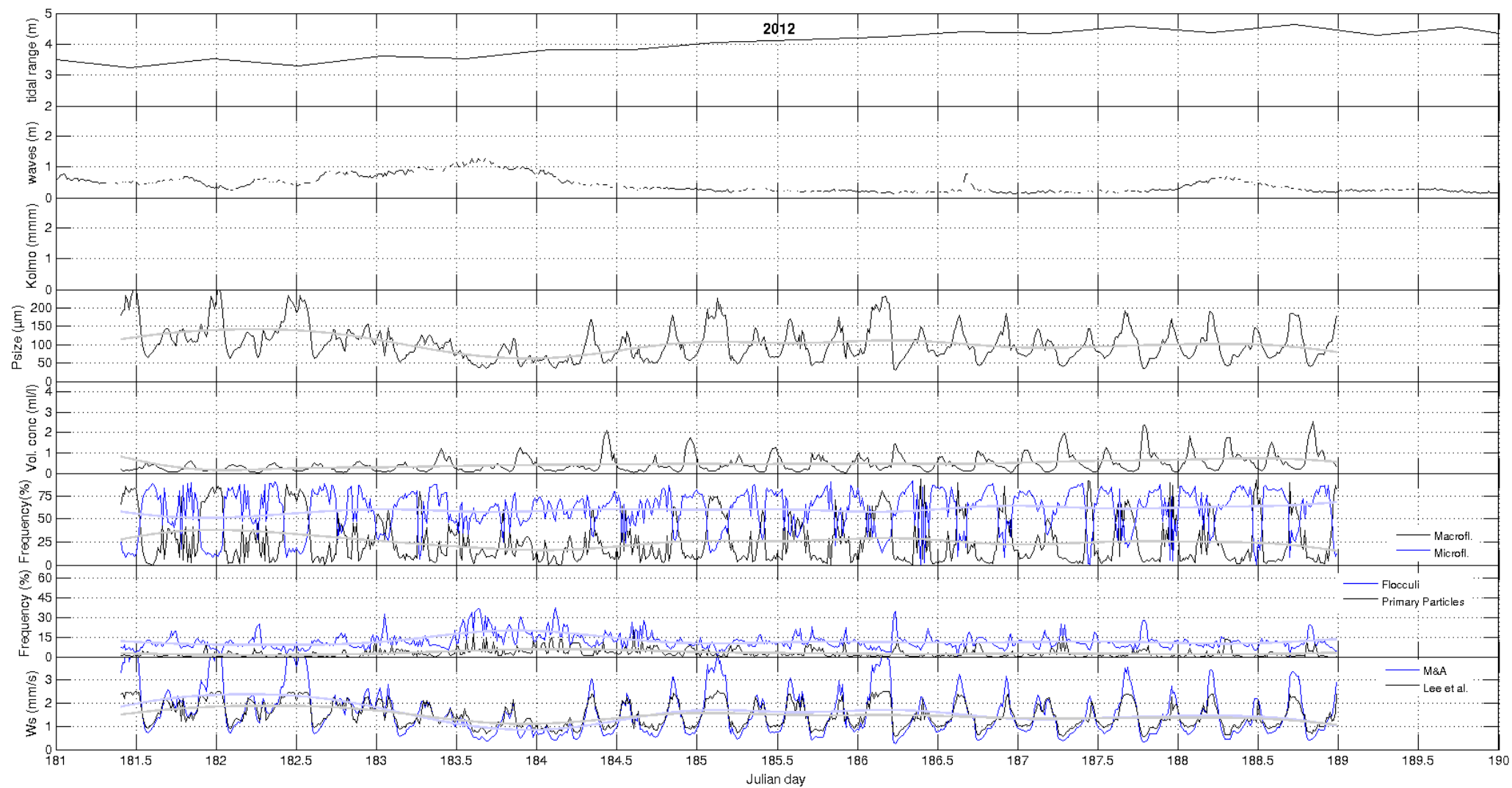


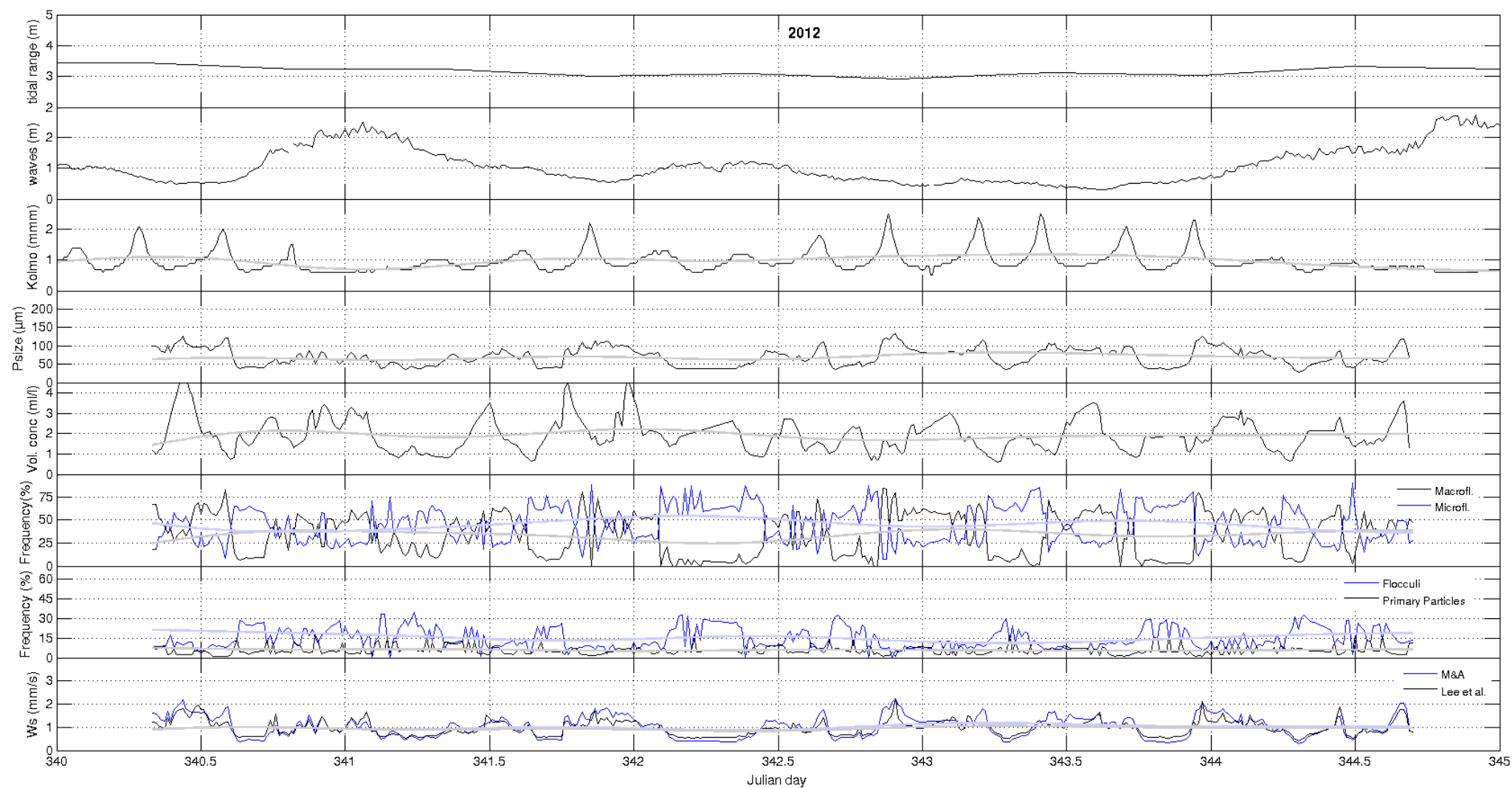


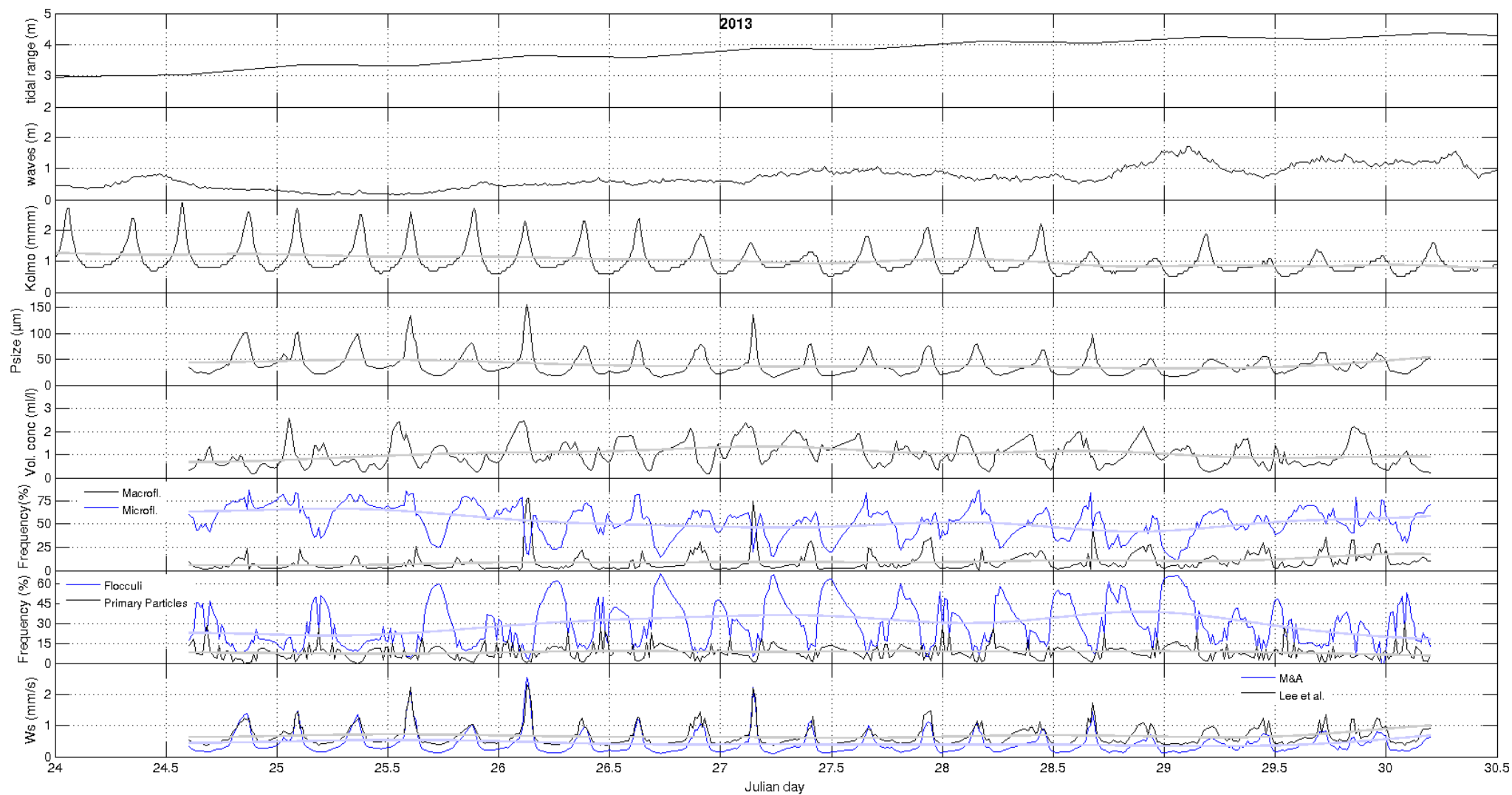


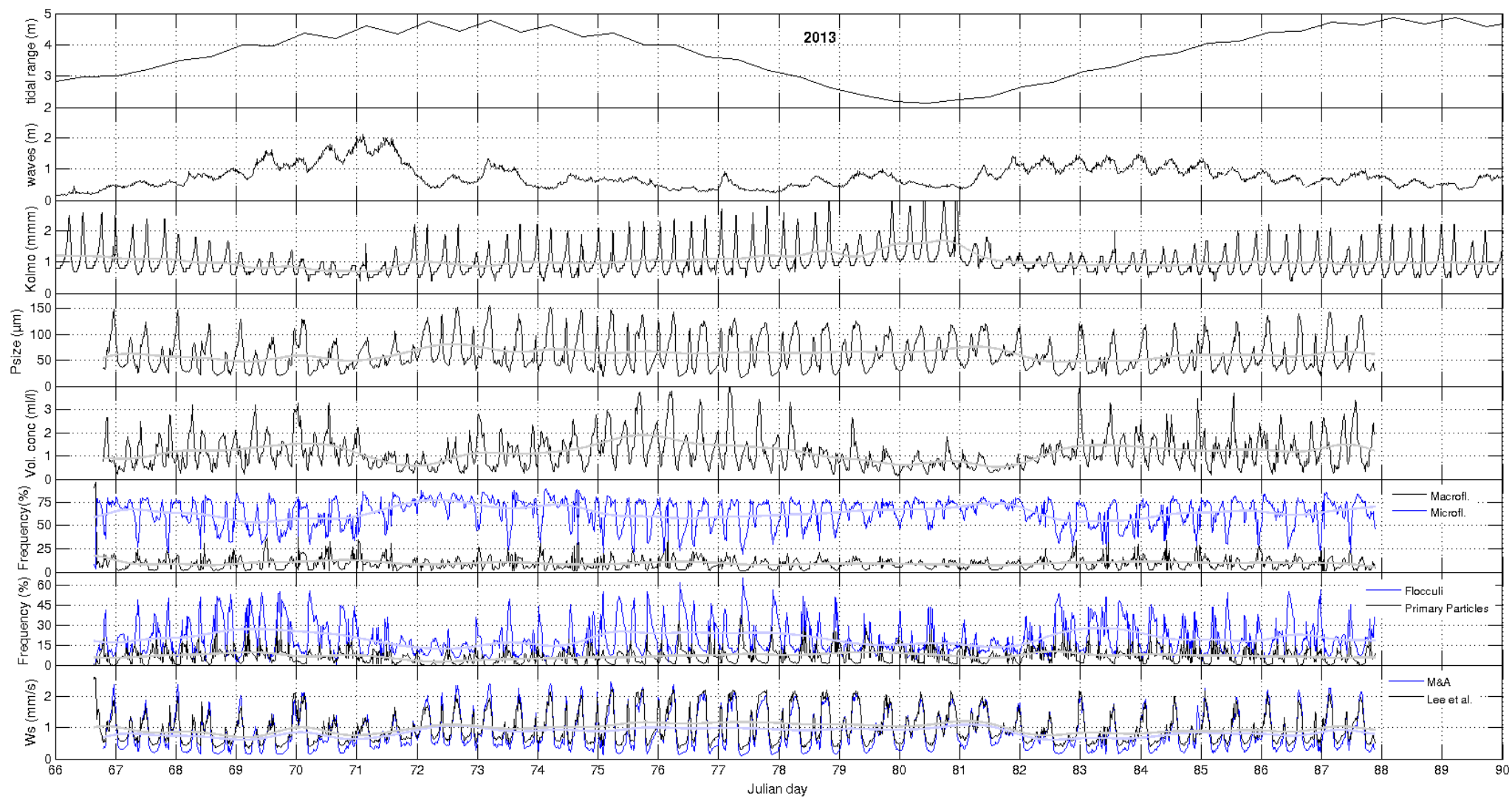


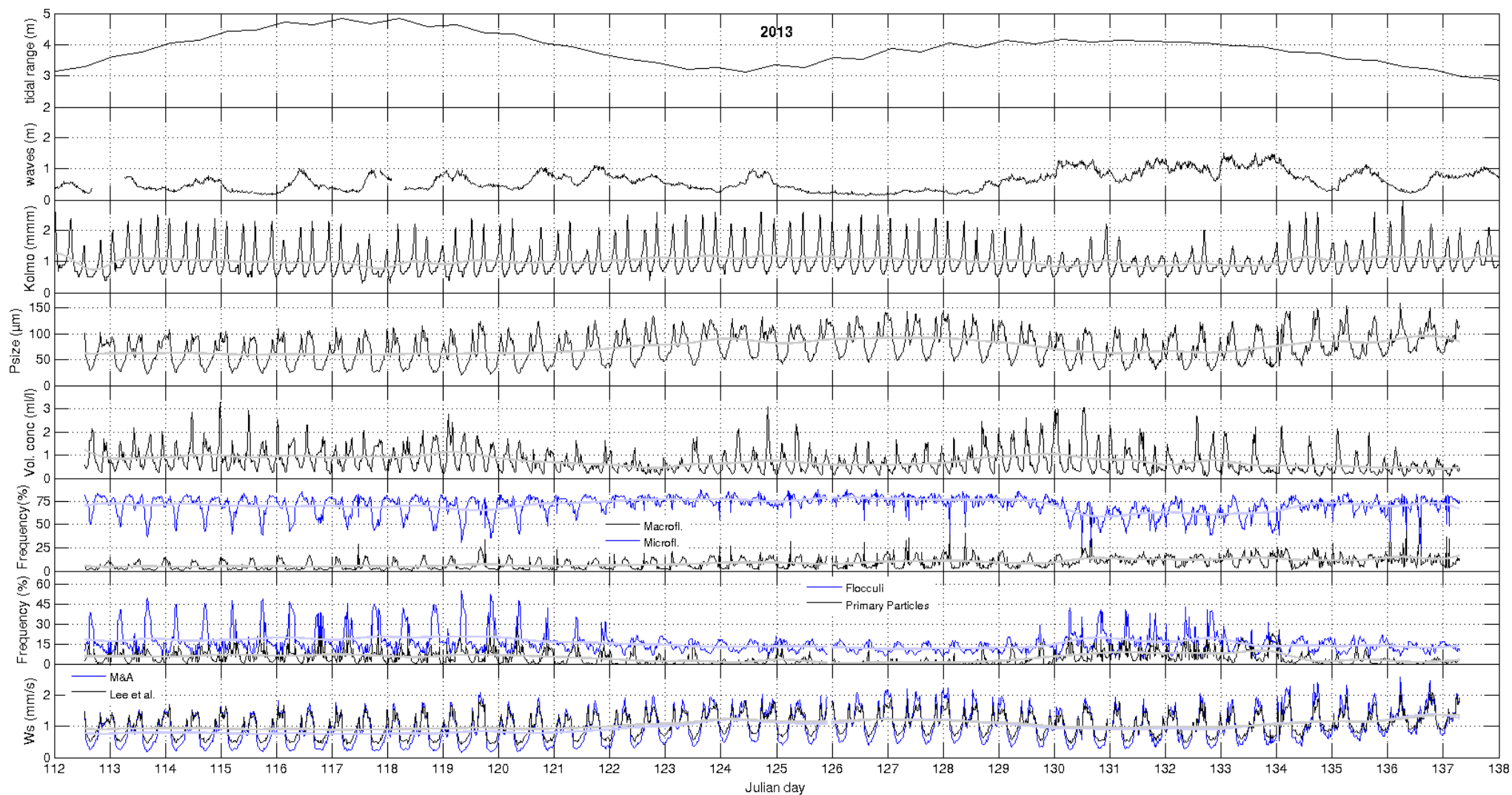


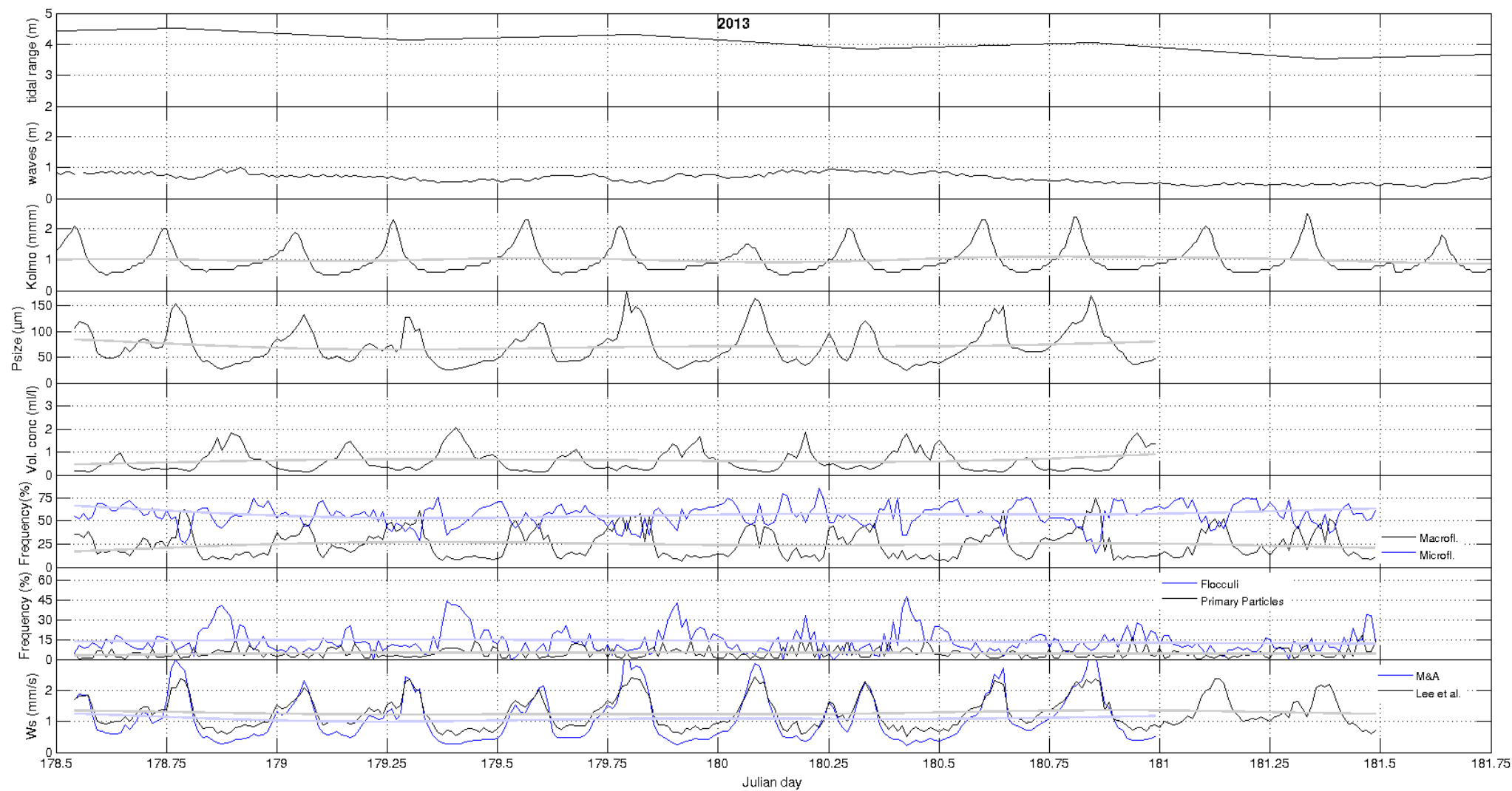


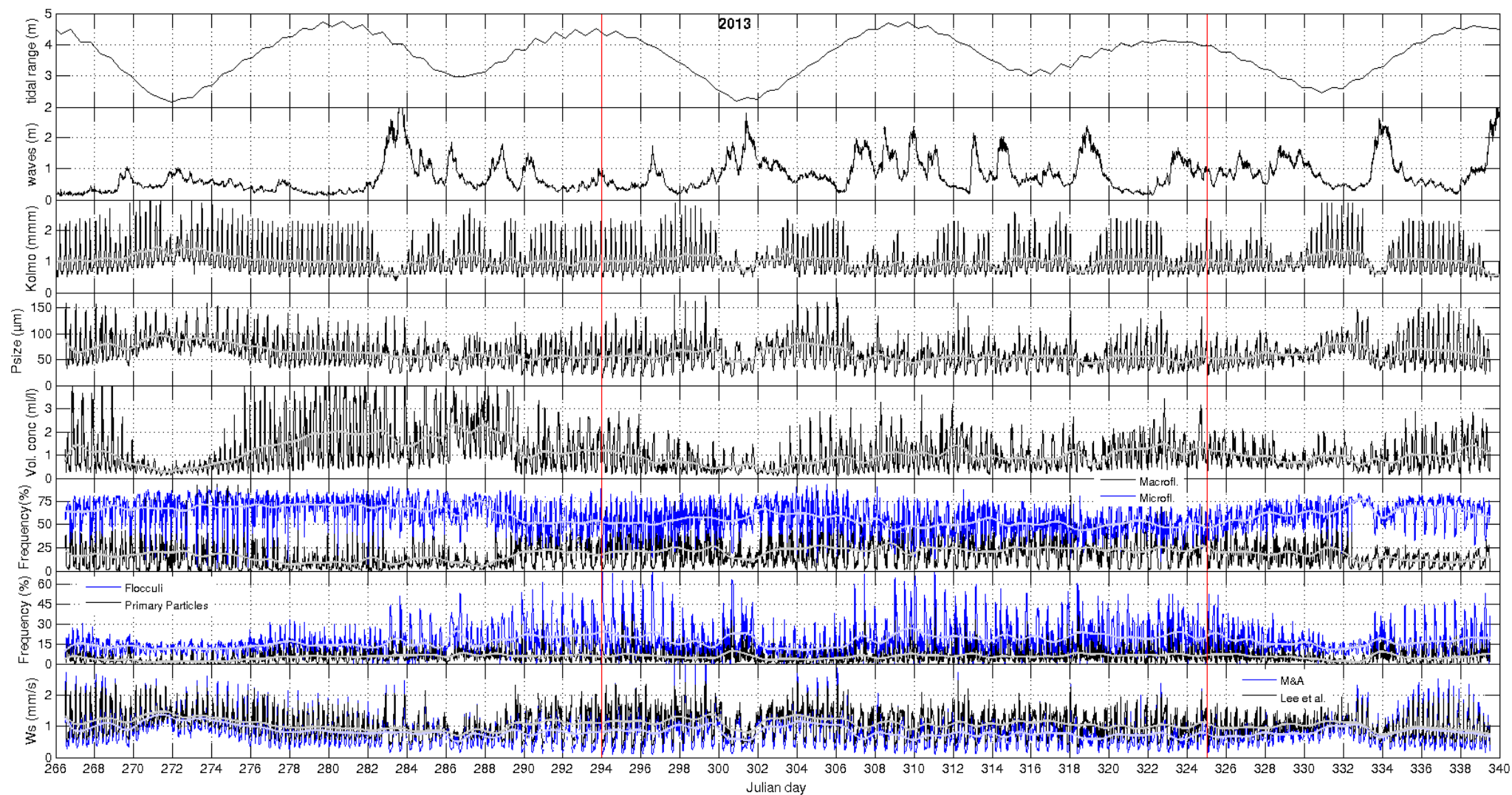












APPENDIX 2

Bijdrage 'Particles in Europe (PiE)', 7-9 October 2014, Esbjerg (Denmark)

Variability in concentration, size and settling velocity of muddy marine flocs from the southern North Sea

Michael Fettweis, Matthias Baeye

Royal Belgian Institute of Natural Sciences – Operational Directorate Natural Environment,

Gulledelle 100, B-1200 Brussels, Belgium; E-mail: m.fettweis@mumm.ac.be

Seasonal variations are characteristic for bio-geochemical processes on tide-dominated mid-latitude continental shelves. They are primarily caused by the seasonality of solar forcing that drives physical (e.g. weather conditions, thermal stratification, light) and biological (e.g. primary production) processes. Suspended Particulate Matter (SPM) concentration in the North Sea has a seasonal variation with high values in winter and low values in summer. Very often the seasonal pattern in wind and waves, with more storms in winter than summer, is put forward to explain the seasonality (Eleveld et al. 2008; Dobrynin et al. 2010). However, the decrease in SPM concentration corresponds well with the algal bloom. Measurements of particle size distribution (PSD), SPM and Chl concentrations from the Belgian nearshore area has indicated that the frequency of occurrence of macroflocs has a seasonal signal, while seasonality has little impact upon floc size (Fettweis et al. 2014). These data suggest that the maximum size of the macroflocs is controlled by turbulence and the available flocculation time during a tidal cycle, but the strength of the macroflocs is controlled by the availability of sticky organic substances associated with enhanced primary production during spring and summer. The data have highlighted the shift from mainly microflocs and flocculi in winter towards more muddy marine snow with larger amounts of macroflocs in spring and summer. The macroflocs will reduce the SPM concentrations in the turbidity maximum area as they settle faster.

Is the lower SPM concentration in the water column in summer compensated by a higher near-bed SPM concentration and by more frequent layers of fluid mud and vice versa in winter? To answer this question we have used 2300 tidal cycles of ADP and OBS data and 1235 of LISST data collected with a benthic lander in the Belgian nearshore area between 2005 and 2013. The ADP backscatter signal was calibrated with OBS data and was used to investigate the near-bed SPM concentration. The tidal cycles were classified according to their tidal amplitude and the seasons.

The results show that SPM concentration in the water column is lower in summer than winter. Near the bed, however, the seasonality is opposed with higher values during summer and lower ones during winter (Figure 1). With increasing distance from the bed the seasonal signal is decreasing and from about 1.8 m above the bed the SPM concentration is lower in summer than winter. The seasonality in SPM concentration differs during the different parts of a tidal cycle. Near-bed SPM concentration is higher at maximum currents (occurring at about 1 h before LW and around HW) during summer than winter, whereas at slack water (3 hours before and after HW) the near-bed SPM concentration is higher in winter. The normalized particle size distribution (PSD) for both season are shown in Figure 2. The data indicate the percentage of each LISST class in the total volume concentration. The highest frequency of large particles is observed during slack water – as expected. A clear difference between summer and winter occurs. During winter the difference between eb and flood is less pronounced. These findings are also visible in the averaged PSD in Figure 3, where we see that the volume averaged particle size is always lower in winter than summer

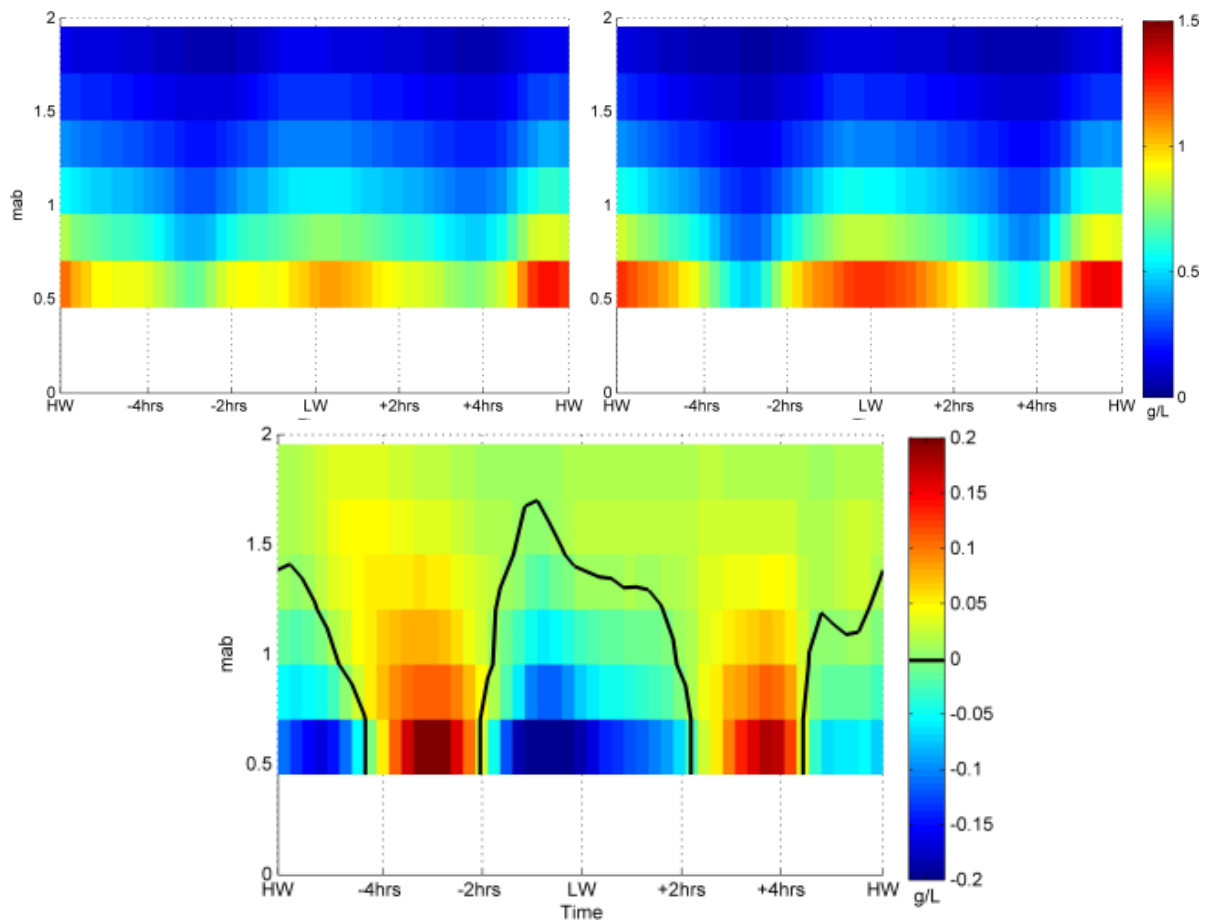


Figure 1: Mean SPM concentration (g/l) profile (from about 0.5 to 2 m above bed) during a tide in winter (above left) and summer (above right). The difference is shown below; negative values point to higher concentration in summer. The black lines indicates a zero difference.

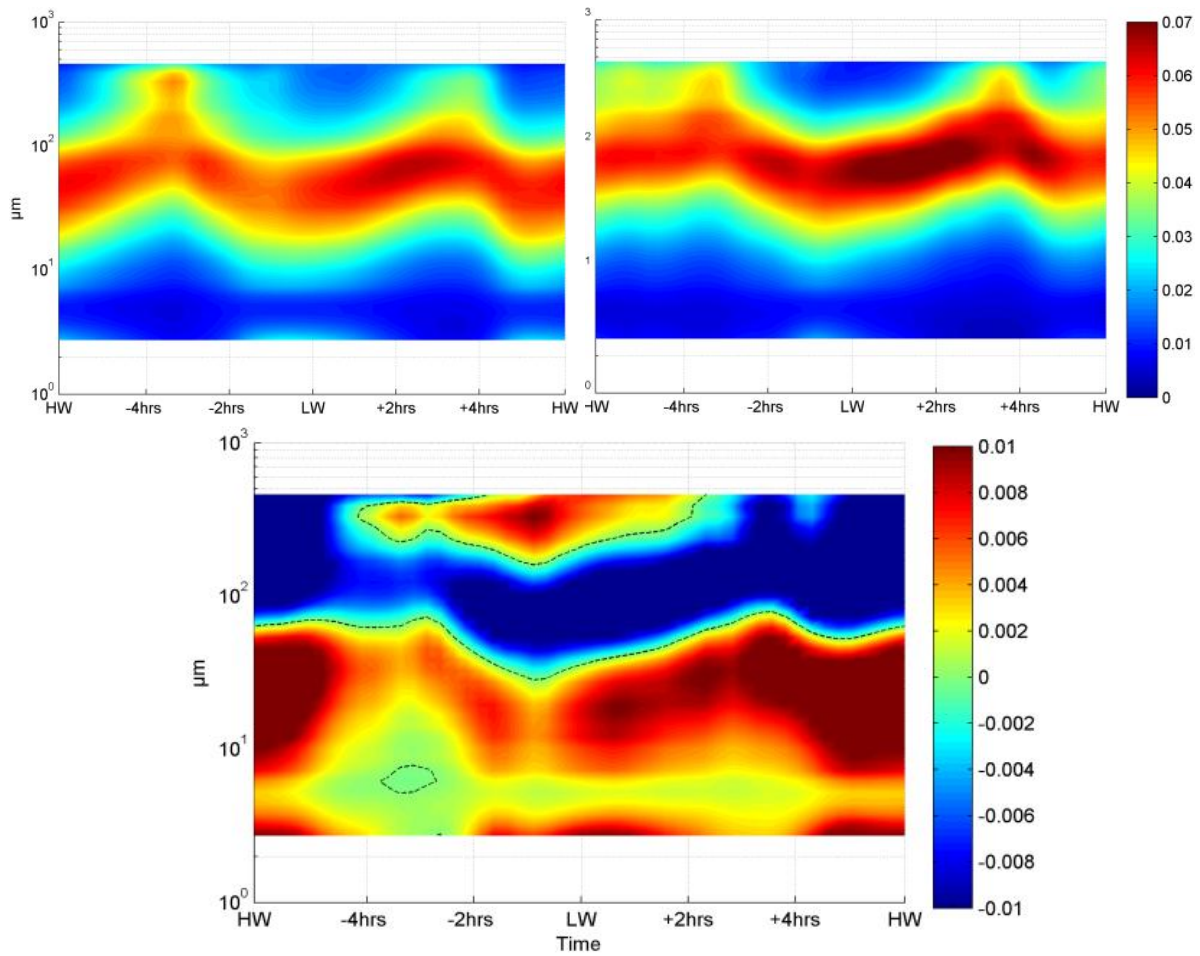


Figure 2: Normalized volume concentration (%) in the 32 LISST classes during a tide in winter (above left) and summer (above right). The difference is shown below; negative values point to higher relative concentration in summer. The black lines indicates a zero difference. The measurements have been taken at 2 mab.

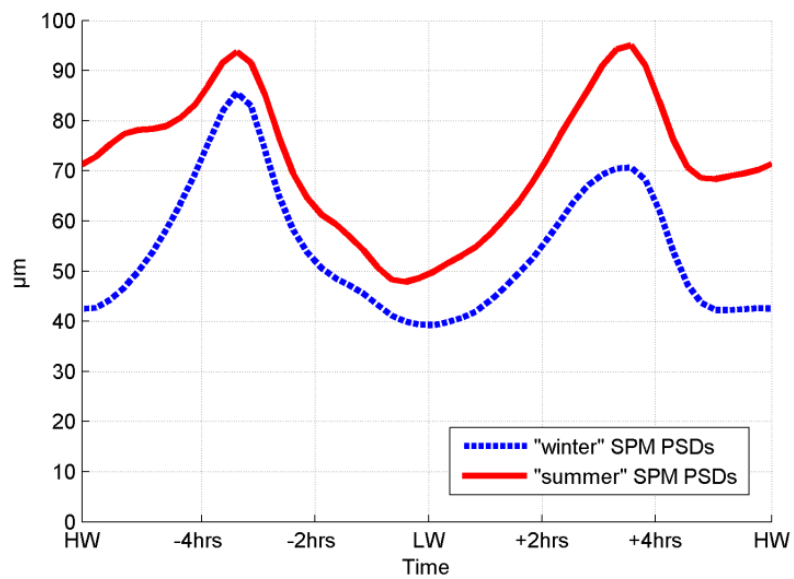


Figure 3: Volume averaged particle size during winter and summer.

The main conclusions are:

The SPM concentration in the water column is higher during winter than summer. This is in contrast with the lower 1.5 m, where the SPM concentration is higher in summer than winter.

The near-bed SPM concentration is higher during maximum currents in summer as compared to winter. During slack water the opposite is observed. The highest SPM concentrations occur during maximum currents in summer. This is explained by higher biological activity in summer, which results in a high concentration of sticky organic molecules (TEP), in more macroflocs, higher settling rates and in higher near bed SPM concentrations. This results in a reduced mixing of the SPM in the water column during summer than winter.

The lower SPM concentrations in the water column are compensated by higher concentrations near the bed. We argue therefore that the total mass of SPM in the area does not have a distinct seasonal signal in contrast with its distribution in the water column.

Dobrynin M, Gayer G, Pleskachevsky A, Günther H. 2010. Effect of waves and currents on the dynamics and seasonal variations of suspended particulate matter in the North Sea. *J. Mar. Syst.*, 82, 1–20.

Eleveld MA, Pasterkamp R, van der Woerd HJ, Pietrzak JD. 2008. Remotely sensed seasonality in the spatial distribution of sea-surface suspended particulate matter in the southern North Sea. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 80, 103–113.

Fettweis M, Baeye M, Van der Zande D, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014. Seasonality of floc strength in the southern North Sea. *J. Geophysical Res.*, 118.

APPENDIX 3

Bijdrage 'Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS)' 19-25 October 2014, Porto de Galinhas (Brazil)

Seasonality of the near bed SPM dynamics in the southern North Sea

MICHAEL FETTWEIS, MATTHIAS BAEYE, FREDERIC FRANCKEN

Royal Belgian Institute of Natural Sciences – Operational Directorate Natural Environment,
Gulledelle 100, B-1200 Brussels, Belgium; Email: m.fettweis@mumm.ac.be

Keywords: SPM dynamics, coastal seas, cohesive sediments, seasonality, sediment transport

SUMMARY

Seasonal variations are characteristic for bio-geochemical processes on tide-dominated mid-latitude continental shelves. Satellite images of the high turbidity area off the Belgian coast show clearly the high surface SPM concentration in winter versus the low ones in summer. This annual cycle of SPM concentration is mainly caused by the seasonal biological cycle, which influences the floc size and as a consequence also the distribution of SPM in the water column. The overall SPM mass in the study area is not changing significantly during seasons, but their distribution in the water column is. During summer the SPM concentration is more concentrated near the bed, while in winter the SPM is better mixed throughout the water column.

1. INTRODUCTION

Seasonal variations are characteristic for bio-geochemical processes on tide-dominated mid-latitude continental shelves. They are primarily caused by the seasonality of solar forcing that drives physical (e.g. weather conditions, thermal stratification, light) and biological (e.g. primary production) processes. Suspended Particulate Matter (SPM) concentration in the North Sea has a seasonal variation with high values in winter and low values in summer. Previous research has shown that annual cycle of SPM concentration in the high turbidity area off the Belgian coast is mainly caused by the seasonal biological cycle, rather than wind and waves [4]. In the tidal dominated southern North Sea biomass effects increase the strength of macroflocs and result in a transformation of mainly microflocs and flocculi in winter towards more muddy marine snow with larger amounts of macroflocs in spring and summer.

Is the lower SPM concentration in the water column in summer compensated by a higher near-bed SPM concentration and by more frequent layers of fluid mud and vice versa in winter? To answer this question SPM concentration measurements using a ADP, OBS and LISST instrument have been collected with a benthic lander in the Belgian nearshore area between 2005 and 2013.

2. METHODS

The study site is situated in the Belgian nearshore area (southern North Sea) and is characterized by high-turbidity waters [3]. An instrumented tripod was deployed at a water depth of about 10 m to collect current, salinity and suspended sediment concentration data. The instrumentation suite consisted among others, of a 3 MHz SonTek ADP, two D&A OBS sensors and a Sequoia Scientific LISST-100X, Type-C. The OBSs were mounted at 0.2 and 2 m above the bed (hereafter referred to as mab). The ADP profiler was attached at 2.3 mab and down-looking, measuring current and acoustic intensity profiles with a bin resolution of 0.15 m. A total of 2300 tidal cycle measurements of ADP and OBS data and 1235 of LISST data have been collected. The long deployments have ensured accurate sampling of conditions that include complete periods of neap and spring tides, seasons, as well as the occurrence of a variety of meteorological events.

The voltage of the OBS was converted to SPM concentration by calibration against filtered water samples during several field campaigns. A linear regression between all OBS signals and SPM concentrations from filtration was assumed. Data from the LISST 100C have been analysed only for the sediment grain size information. The backscattered acoustic signal strength, from ADP, was used to estimate SPM concentrations. After conversion to decibels, the signal strength was corrected for geometric spreading and water attenuation. Furthermore, an iterative approach [8] was used to also correct for sediment

attenuation. The upper OBS-derived SPM concentration estimates were used to empirically calibrate the ADP's first bin.

Each of the 2300 tidal cycles was classified into a group based on tidal range and season. The tidal range associated with each tidal cycle was derived from the harmonic tidal signal, and 5 groups were selected (super spring, spring, mean neap and super neap tide). This corresponds with the P90, P66, P33 and P10 percentiles in tidal range. Summer corresponds to the April – September and winter to the October-March period.

3. RESULTS

The results show that SPM concentration in the water column is lower in summer than winter. Near the bed, however, the seasonality is opposed with higher values during summer and lower ones during winter (Figure 1). With increasing distance from the bed the seasonal signal is decreasing and eventually the SPM concentration in the water column is lower during summer (Figure 2). The seasonality in SPM concentration differs during the different parts of a tidal cycle. Near-bed SPM concentration is higher at maximum currents (occurring at about 1 h before LW and around HW) during summer than winter, whereas at slack water (3 hours before and after HW) the near-bed SPM concentration is higher in winter. The averaged particle size distribution (PSD) for both seasons is shown in Figure 2. The data indicate that the volume averaged particle size is always lower in winter than summer and thus the settling velocity.

The near-bed profile of tidal averaged SPM concentration during summer and winter has a clear logarithmic profile (Figure 3). The SPM concentration is higher near the bed in summer than winter. This seasonal difference is decreasing with increasing distance from the bed and, resulting eventually in a lower SPM concentration in the water column during summer.

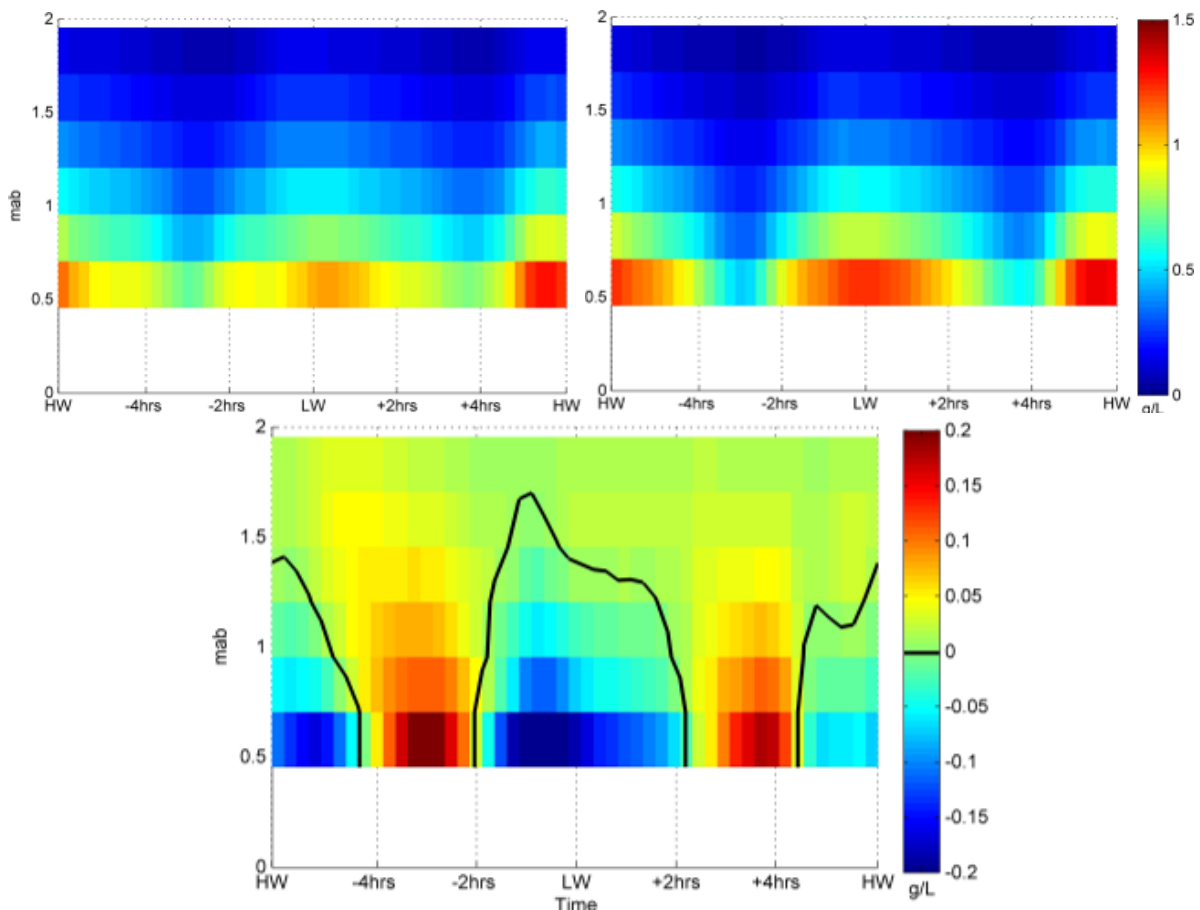


Figure 1: Mean SPM concentration (g/l) profile (from about 0.5 to 2 m above bed) during a tide in winter (above left) and summer (above right). The difference is shown below; negative values point to higher concentration in summer. The black lines indicates a zero difference.

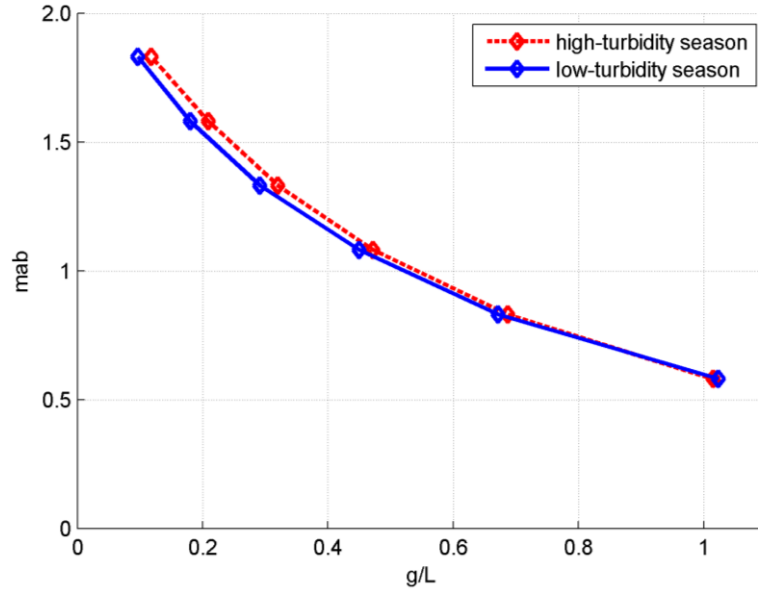


Figure 2: The near-bed profile of tidal averaged SPM concentration during summer (low-turbidity season) and winter (high turbidity season) has a clear logarithmic profile.

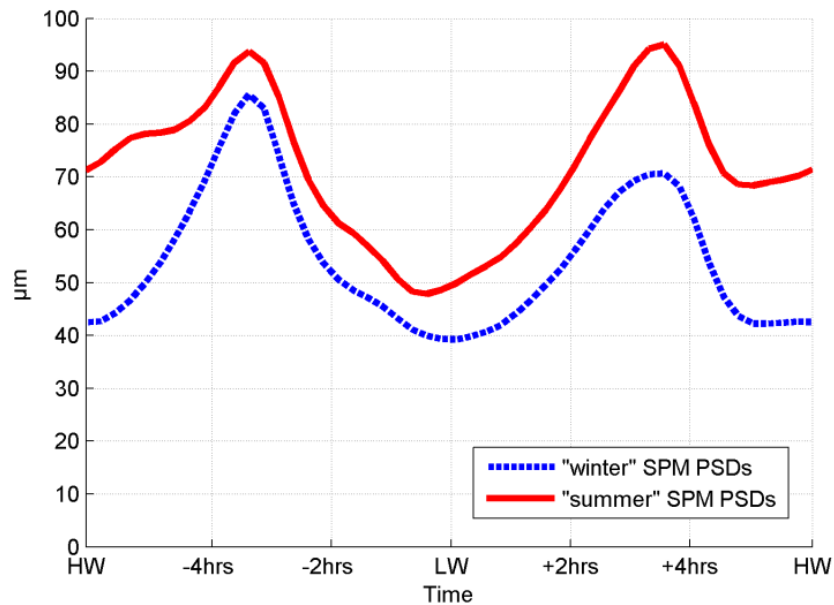


Figure 3: Volume averaged particle size during winter and summer.

4. DISCUSSION

The measurements show that SPM sediment dynamics, although dominated by the tidal forcing, are significantly influenced by seasons. The results suggest that floc size controls settling and deposition and thus sediment dynamics. TEPs and other bio-stabilizers reduce erosion and resuspension of mud deposits ([1] [2] [6] [9]). Due to the presence of bio-stabilizers in summer, a larger part of the cohesive sediments is kept in a high concentration mud suspension (HCMS), fluid mud or consolidated bed layer. The presence of HCMS or fluid mud results in a reduction of the bottom shear stress and thus a decrease of erosion [7]. In winter the strength of the deposits decreases and therefore are more easily resuspended, resulting in higher SPM concentrations. Evidence of HCMS formation during an algae bloom period was observed at a nearby site in April 2008 in contrast with a winter period [4]. The much greater decrease in

surface SPM concentration compared with near bed SPM concentration during summer suggests faster settling in the summer.

5. REFERENCES

- [1] Black, K.S., Tolhurst T.J., Paterson D.M. and Hagerthey S.E. (2002). Working with natural cohesive sediments. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 128, pp 2–8.
- [2] Droppo, I.G., Lau Y.L. and Mitchell C. (2001). The effect of depositional history on contaminated bed sediment stability. *Science of the Total Environment*, 266, pp 7-13.
- [3] Fettweis, M., Francken F., Van den Eynde D., Verwaest T., Janssens J., Van Lancker V. (2010). Storm influence on SPM concentrations in a coastal turbidity maximum area (southern North Sea) with high anthropogenic impact. *Continental Shelf Research*, 30, pp 1417-1427.
- [4] Fettweis, M., Baeye M., Lee BJ, Chen P. and Yu J.C.R. (2012). Hydro-meteorological influences and multimodal suspended particle size distributions in the Belgian nearshore area (southern North Sea). *Geo-Marine Letters*, 32, pp 123-137.
- [5] Fettweis, M., Baeye M., Van der Zande D., Van den Eynde D. and Lee BJ. (2014). Seasonality of flocc strength in the southern North Sea. *Journal of Geophysical Research*, 119, pp 1911-1926.
- [6] Gerbersdorf, S.U., Jancke T., Westrich P. and Paterson D.M. (2008). Microbial stabilization of riverine sediments by extracellular polymeric substances. *Geobiology*, 6, pp 57-69.
- [7] Geyer, W.R., Beardsley R.C, Lentz, S.J., Candela J., Limeburner R., Johns W.E., Castro B.M. and Soares I.D. (1996). Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16, pp 575–616.
- [8] Kim, H.Y., Gutierrez B., Nelson T., Dumars A., Maza M., Perales H. and Voulgaris G. (2004). Using the acoustic Doppler current profiler (ADCP) to estimate suspended sediment concentration. Technical Report CPSD #04-01.
- [9] Maerz, J. and Wirtz K. (2009). Resolving physically and biologically driven suspended particulate matter dynamics in a tidal basin with a distribution-based model. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 84, pp128–138.

Michael Fettweis, Matthias Baeye, Frederic Francken

Royal Belgian Institute of Natural Sciences – Operational Directorate Natural Environment, Gulledele 100, B-1200 Brussels, Belgium

Contact: m.fettweis@mumm.ac.be

Introduction

Seasonality in SPM concentration in mid-latitudes is significantly caused by changes in floc sizes due to biological activity (Fettweis et al. 2014):

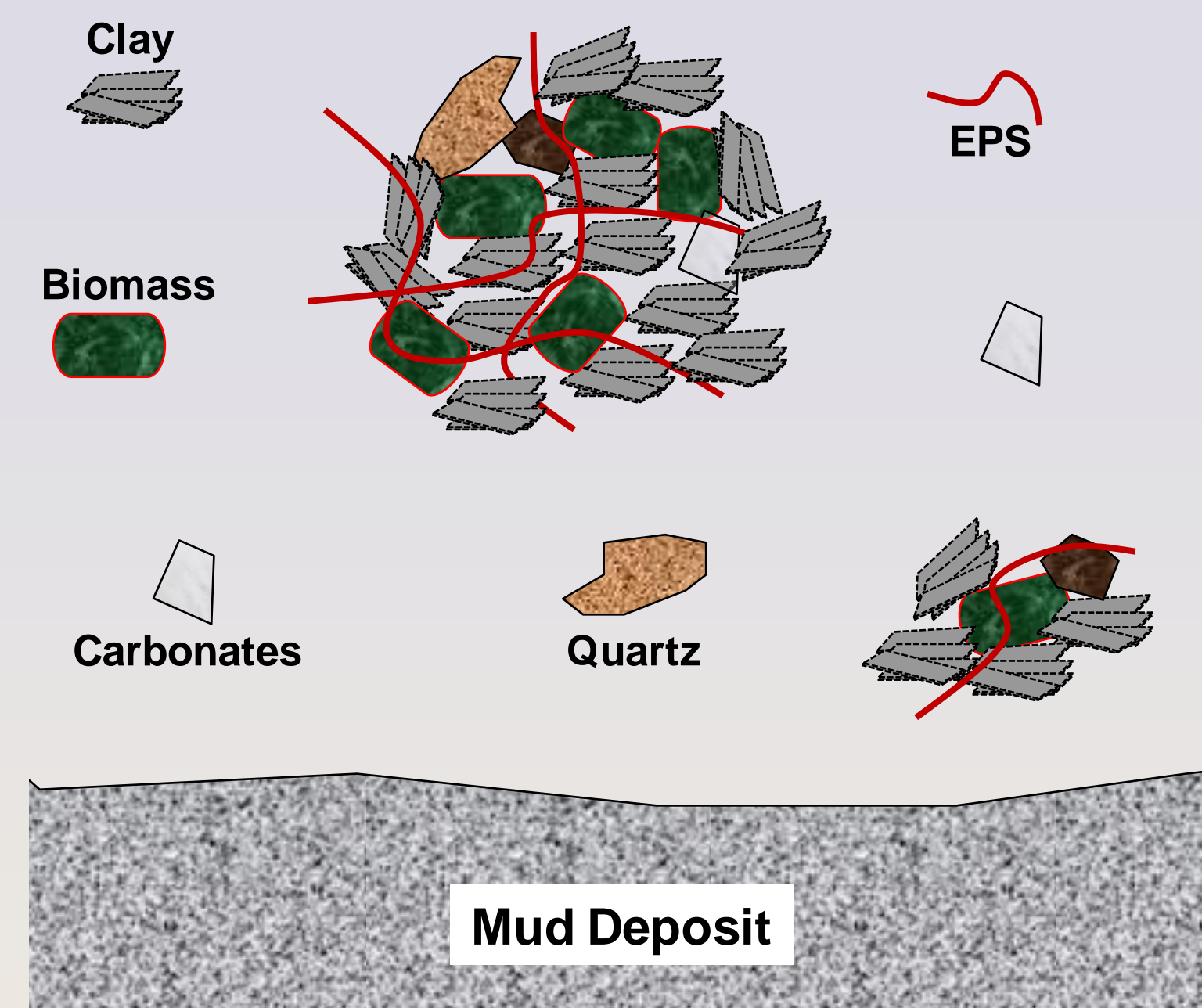
Spring -Summer: Algae bloom → sticky organic particles (TEP) → stronger & larger flocs → higher settling → SPM conc. decreases in water column

Autumn- Winter: Biological activity is lower → weaker and smaller flocs → reduced settling → higher SPM conc. in water column

What happens with the SPM during winter & summer?

Seasonal transport of SPM (advection) by meteorological systems
or

Seasonal redistribution of the SPM between water column (winter) and sea floor (summer).



Suspended Particulate Matter (SPM) consist of flocs

Flocs are held together by the cohesive forces of clay minerals and the stickiness of microbial products (EPS and TEP)

Size is controlled by turbulence and organic particles (TEPs)

Size and density determines settling velocity of the flocs

Methods

In situ measurements & classification of large data sets

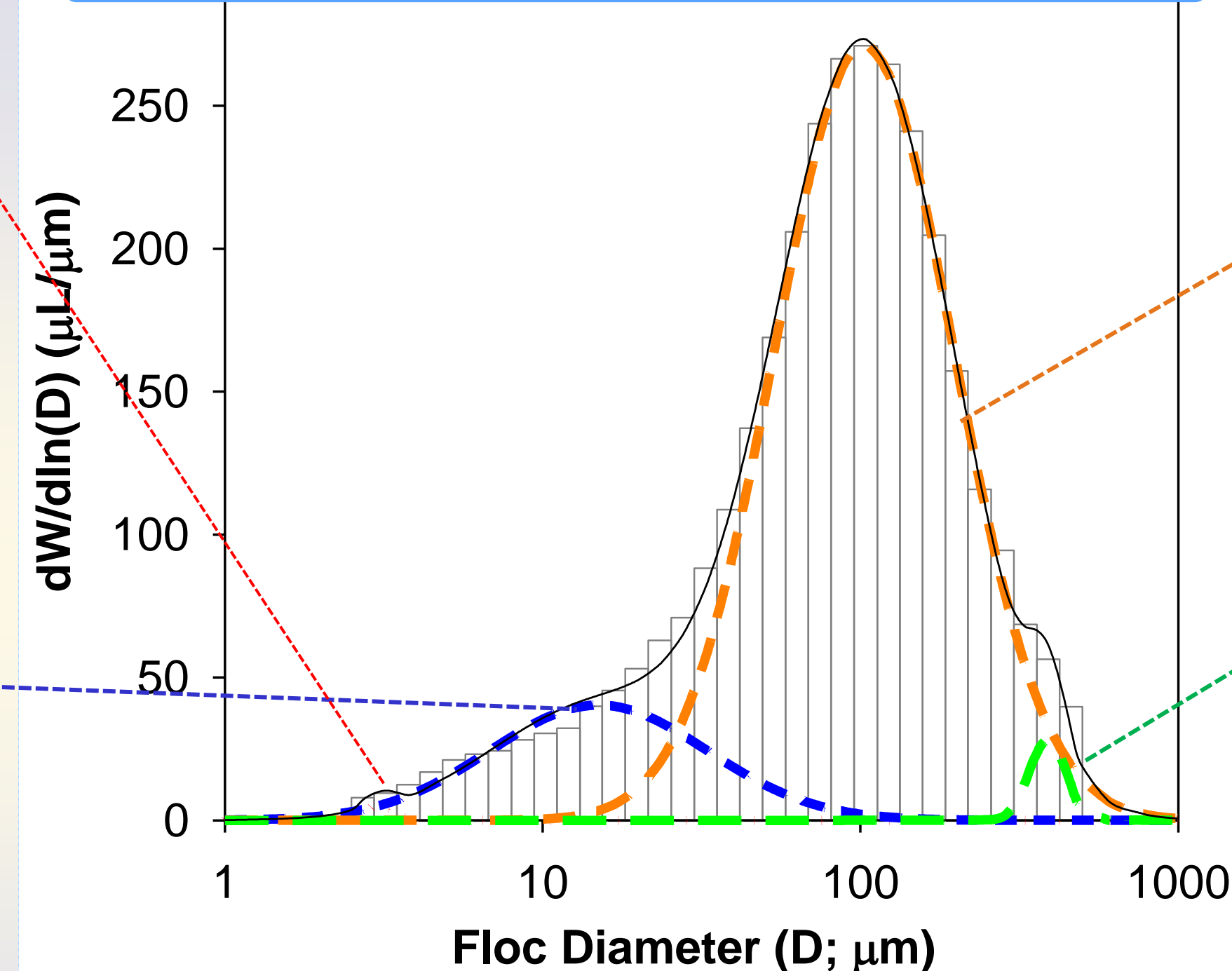


ADP, OBS and LISST data have been collected with tripods in the turbid Belgian nearshore area between 2006-2013. In total 1258 days (ADP), 1153 days (OBS) OBS data 721 days (559 winter, 153 summer) LISST data are available. Every tidal cycle has been classified according to season, tidal range, wave height (not shown) and alongshore flow (not shown) and then ensemble averaged.

Characteristics of PSD and settling velocity

Primary Particle
 $D \sim 2 \mu\text{m}$, $nf=3$
 $\rho = 2475 \text{ kg/m}^3$

Flocculi
 $15 \mu\text{m}$, $nf=2.2$



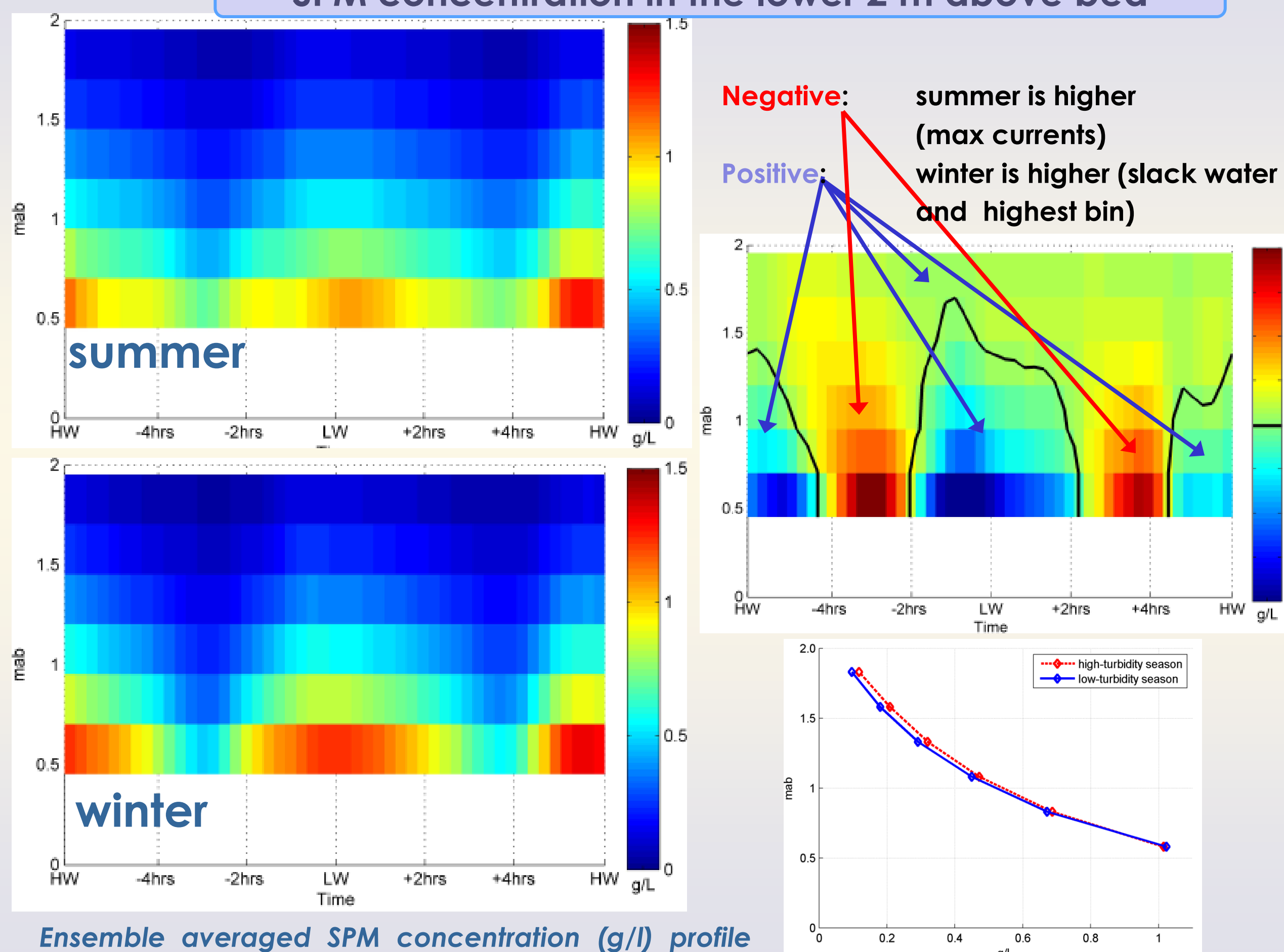
Microfloc
 $15 \sim 200 \mu\text{m}$
 $nf=2$

Macrofloc
 $200 \sim 500 \mu\text{m}$
 $nf=1.8$

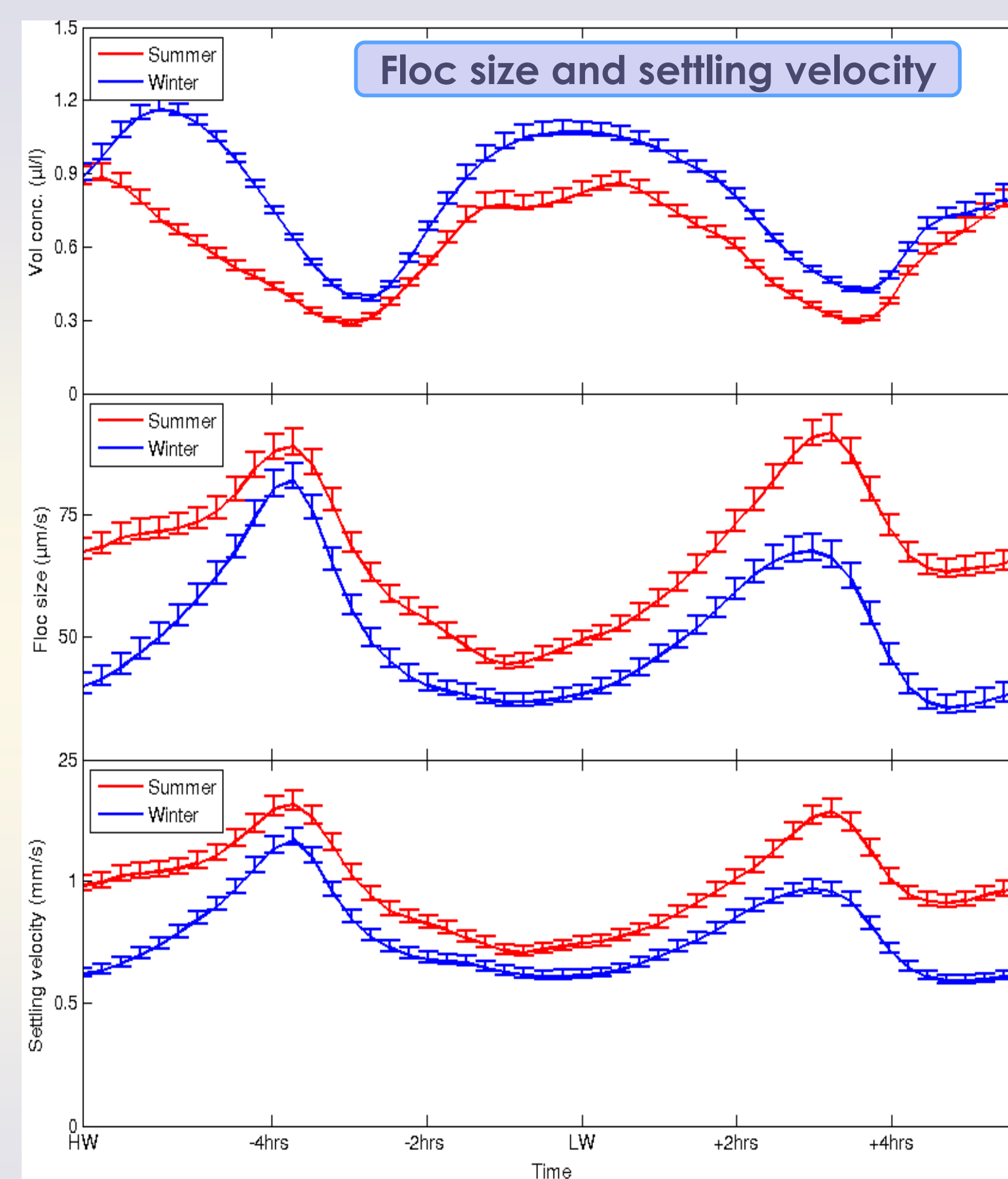
- Flocs have a multimodal Particle Size Distribution (PSD) (Lee et al. 2012). The observed multimodal PSD was assumed to be formed by overlapping four uni-modal lognormal PSDs of primary particles, flocculi, microflocs, and macroflocs.
- The settling velocity was calculated for the 4 mod with the modified Stokes law that uses floc fractal dimension (nf) to take into account varying effective density (ρ), see Winterwerp 1998.

Results

SPM concentration in the lower 2 m above bed

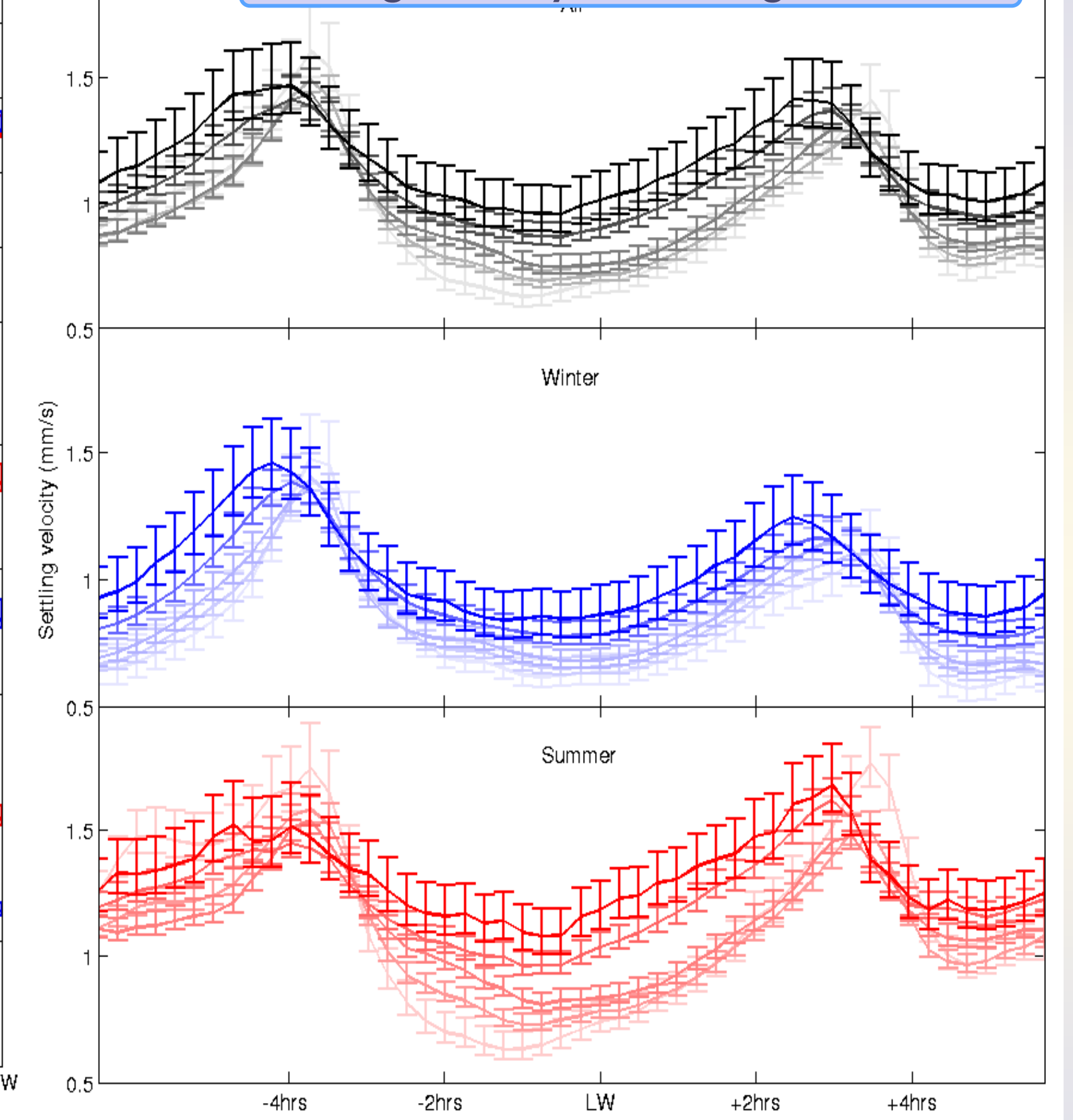


Ensemble averaged SPM concentration (g/L) profile (from about 0.5 to 2 m above bed) during a tidal cycle in winter and summer.



Ensemble averaged volume concentration, median floc size and settling velocity during winter and summer.

Settling velocity: Tidal range + season



Ensemble averaged settling velocity during whole a year, winter and summer and tidal range (dark line: neap tide, light: spring tide).

SPM dynamics, although dominated by tidal forcing, is significantly influenced by seasons. The results suggest that the seasonality in floc size controls settling and deposition and thus the seasonal sediment dynamics. TEPs and other bio-stabilizers reduce erosion and resuspension of mud deposits. Due to the presence of more bio-stabilizers in summer, a larger part of the cohesive sediments is kept in a high concentration mud suspension (HCMS), fluid mud or consolidated bed layer. The presence of HCMS or fluid mud results in a reduction of the bottom shear stress and thus a decrease of erosion. In winter the strength of the deposits decreases and therefore are more easily resuspended, resulting in higher SPM concentrations.

Conclusion

- SPM concentration is higher in winter in the water column and higher in summer near the bed
- Floc size & settling velocity is smaller in winter than summer
- Tidal range has an significant influence, wave height & meteorology does not significantly influence seasonality

Results favor 2nd hypothesis: SPM stays in the area during summer (near-bed area) and winter (water column). Seasonal advection in and out of the area is probably less important